

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH RADIUS PILAR MASSIF TERHADAP
POLA GERUSAN LOKAL

Anwar¹⁾, Dandi Wahab²⁾, Ichsan Rauf³⁾, Kusnadi⁴⁾, Zulkarnain K. Misbah⁵⁾

^{1,2,3,4,5)} Universitas Khairun

¹⁾Anwar27unkhair@yahoo.com, ²⁾dandsanches968@gmail.com, ³⁾ichsanrauf@unkhair.ac.id

⁴⁾kusnadi@unkhair.ac.id, ⁵⁾zulkarnainmisbah@gmail.com

ABSTRACT

Local scouring on the bridge piers is one of the causes of instability in the bridge structure, consequently it has the potential to cause a structural collapse. The existence of piers on the river body will change the flow hydraulics, thus erosion on the riverbed cannot be evaded. Therefore, efforts to reduce the amount of local scour must be a concern in the planning of the pier structure, such as by determining the geometry of the bridge piers. This study conducted the effect of the pier-nose radius on the local scouring potential that occurs around the pier based on the laboratory experiments. The piers prototype used is a massive pier with variation of pier-nose radius (R) from 10 mm, 15 mm and 20 mm. The flume channel used in this experiment has dimension 7400 mm in length, 280 mm in width and 400 mm in high. The flow conditions applied are steady uniform flow with two variations of discharge, while the slope of the channel was 0.2%. The results of this study indicate that the scouring depth (d_s) is directly proportional to the discharge (Q), mean while the influence of pier-nose radius presents that the larger radius of the pier-nose, the smaller scour depth will occur.

ABSTRAK

Gerusan lokal pada pilar jembatan menjadi salah satu penyebab instabilitas pada struktur jembatan yang berpotensi terhadap kegagalan struktur jembatan. Keberadaan pilar yang menopang struktur atas jembatan di badan sungai menyebabkan terjadinya perubahan pola aliran sehingga erosi pada dasar sungai tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, upaya untuk mereduksi besaran gerusan lokal harus menjadi perhatian dalam perencanaan struktur pilar, seperti dengan menentukan bentuk geometri pilar jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh radius pilar terhadap potensi gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar tersebut melalui eksperimen di laboratorium. Bentuk pilar yang digunakan adalah pilar massif dengan hidung pilar (pier-nose) berbentuk bulat dengan jari-jari (r) yang bervariasi dari 1; 1,5 dan 2. Penampang saluran yang digunakan memiliki panjang 7400 mm, lebar 280 mm dan tinggi 400 mm. Kondisi aliran yang digunakan adalah aliran seragam permanen (steady uniform flow) dengan dua variasi debit, sementara kemiringan dasar saluran yang digunakan tetap sebesar 0.2%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar radius hidung pilar maka akan semakin kecil gerusan lokal yang terjadi, adapun debit memberikan pengaruh sebaliknya.

Kata kunci: gerusan lokal; radius pilar

1. PENDAHULUAN

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

Gerusan lokal menjadi permasalahan yang menyebabkan kegagalan struktur jembatan, oleh karena proses ini menyebabkan terjadinya degradasi dasar sungai di sekitar jembatan yang berdampak pada hilangnya daya dukung tanah dalam mentransfer beban jembatan. Gerusan lokal yang terjadi di sekitar

pilar adalah kejadian turunnya dasar sungai di sekitar pilar akibat adanya system 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. 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 : pengendalian *armoring* dan pengendalian dengan modifikasi aliran (Abdallah Mohamed, et al., 2015). Pengendalian *armoring* adalah penambahan lapisan lain yang bertujuan untuk menahan tegangan geser hidrolik 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.

Modifikasi geometri pilar menjadi salah satu upaya pengendalian gerusan lokan 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). Beberapa penelitian yang memodifikasi geometri pilar seperti : (Mohammed, et al., 2007) yang membandingkan bentuk pilar persegi, bulat dan belah ketupat, dimana hasilnya menunjukkan bentuk belah ketupat memberikan nilai gerusan terkecil. Selain itu, dalam kajian yang dilakukan oleh (Ikhsan & Hidayat, 2006) yang membandingkan bentuk bulat, bujur sangkar dan segitiga menunjukkan bahwa bentuk segitiga memberikan gerusan yang terkecil. Dari hasil penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa bentuk hidung pilar (pier nose) pilar menjadi faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan yang akan terjadi.

Parameter bentuk menjadi aspek yang tidak terpisahkan dalam perancangan sebuah jembatan untuk memberikan nilai artistik, demikian pula dengan modifikasi bentuk pilar. Oleh karena itu, penelitian ini fokus penelitian menitikberatkan pada analisis pengaruh modifikasi hidung pilar dengan berbagai radius dan variasi debit terhadap potensi gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar jembatan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gerusan Lokal

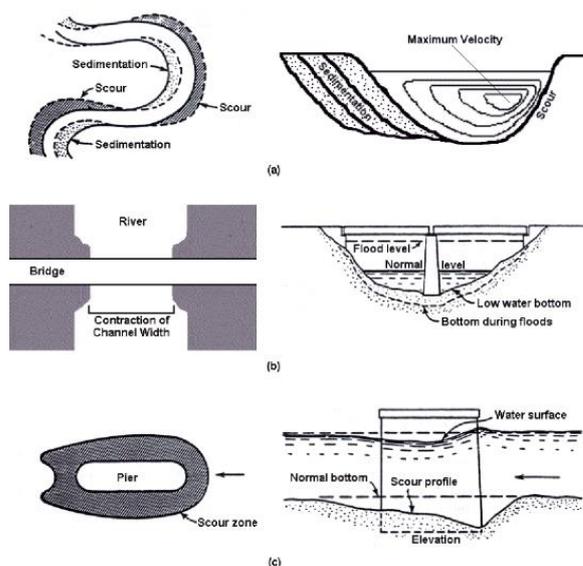
Gerusan merupakan proses pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida (Laursen & Toch, 1956). Gerusan (*scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran di mana sedimen yang dingkut lebih besar dari sedimen yang disuplai. Lebih jauh dijelaskan bahwa sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut :

- 1) Besar gerusan akan sama selisihnya antara jumlah material yang diangkut keluar daerah gerusan dengan jumlah material yang diangkut masuk ke dalam daerah gerusan.
- 2) Besar gerusan akan berkurang apabila penampang basah daerah gerusan bertambah (misal karena erosi). Untuk kondisi aliran bergerak akan terjadi suatu keadaan gerusan yang disebut gerusan batas, besarnya akan asimtotik terhadap waktu.

2.2 Jenis - Jenis Gerusan

Gerusan adalah proses semakin dalamnya dasar sungai oleh karena terjadinya interaksi antara aliran dengan lingkungan sungai, dimana gerusan berdasarkan tempat terjadinya menurut (Parker, et al., 1997) dapat diklasifikasikan menjadi 3, yaitu :

gerusan umum, gerusan lokal dan gerusan kontraksi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Sumber : (Webb, et al., 2002)

Gambar 1. Gerusan Pada Aliran Sungai

1. Gerusan umum (*general scour*)

Gerusan umum ini merupakan suatu proses alami yang terjadi pada sungai sehingga akan menimbulkan degradasi dasar. Gerusan umum disebabkan oleh energi dari aliran air.

2. Gerusan lokal (*local scour*)

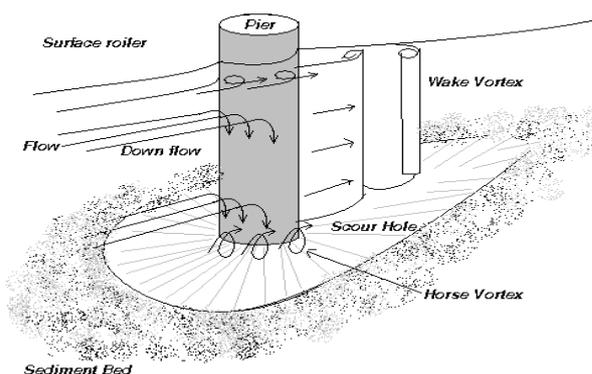
Proses gerusan dan deposisi pada alur sungai, akibat adanya rintangan berupa bangunan yang ada di sungai, yang diikuti dengan perubahan pola aliran sungai, umumnya disebut gerusan local (*Breuser dan Raudkivi, 1991*). Gerusan lokal ini pada umumnya diakibatkan oleh adanya bangunan air, misal, tiang atau pilar jembatan. Gerusan lokal disebabkan oleh sistem pusaran air (*vortex system*) karena adanya gangguan pola aliran akibat rintangan.

3. Gerusan Kontraksi (*Contraction scour*)

Merupakan kombinasi antara gerusan lokal (*local scour*) dan gerusan umum (*general scour*). Bisa juga kombinasi antara gerusan lokal, gerusan umum dan gerusan terlokalisasi (*localized scour/constriction scour*).

2.3 Mekanisme Gerusan

Interaksi antara aliran di sekitar pilar jembatan dengan dasar sungai di sekitar pilar sangat kompleks. Pilar atau abutmen yang merintang aliran dapat menyebabkan sistem pusaran (*vortex system*) aliran di sekitar bangunan tersebut. Sistem pusaran ini selanjutnya menyebabkan gerusan di sekitar pilar atau abutmen. Lubang gerusan yang timbul, bermula dari arah hulu pilar, pada saat mulai timbul komponen aliran yang mengarah ke bawah.



Sumber : Breuser dan A.J. Raudkivi 1991

Gambar 2. Aliran disekitar Pilar

Di dekat dasar komponen aliran tersebut akan berbalik arah ke hulu, yang diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral di daerah lobang gerusan (*scour hole*) yang mengakibatkan gerusan dasar sungai di sekitar pilar seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Hal ini akan berlangsung terus sampai terjadi keseimbangan.

Proses gerusan di sekitar pilar sangat kompleks karena meliputi aliran tiga dimensi. Pada saat aliran melewati pilar, akan terjadi pemisahan aliran dan pemisahan ini akan meluas ke bagian hilir pilar. Sistem pusaran yang terjadi mempunyai bentuk atau karakteristik seperti pusaran sepatu kuda sehingga dinamakan pusaran sepatu kuda (*horseshoe vortex*).

2.4 Pilar Jembatan

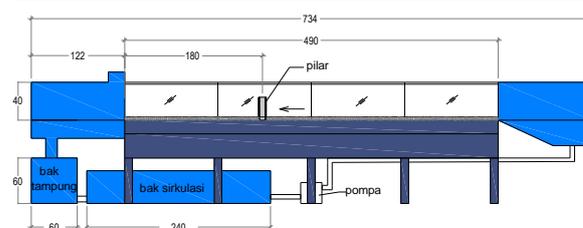
Keberadaan struktur melintang pada Pilar ini merupakan bagian paling penting dari struktur bawah jembatan yang berfungsi menahan berat dari badan jembatan itu sendiri dan beban yang melewatinya. Adanya pilar jembatan di satu penampang sungai dapat menyebabkan perubahan pola aliran sungai (Ikhsan & Hidayat, 2006).

Faktor-faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan lokal pada pilar jembatan menurut (Breusers, et al., 1977) dapat dikelompokkan kedalam 4 aspek, yaitu : karakteristik aliran, geometri pilar, propertis material dasar sungai dan parameter fluida. Adapun pengaruh bentuk pilar telah banyak dilakukan seperti Laursen and Toch (1956), Dietz (1972), Breusers (1977), Breusers and Raudkivi (1991), dimana secara umum menunjukkan bahwa semakin tumpul hidung pilar semakin besar gerusan lokal yang akan terjadi.

Klasifikasi bentuk pilar jembatan dapat dikelompokkan menjadi dua jenis (Shen, 1971), yaitu : Pilar dengan hidung tumpul dan pilar hidung tajam. Lebih jauh dijelaskan bahwa untuk pilar hidung tumpul akan menginduksi medan perpanjangan tekanan yang menghasilkan pemisahan hidraulik dari lapisan batas dalam tiga dimensi, sehingga kedalaman gerusan maksimum akan terjadi pada bagian hidung pilar. Adapun pilar hidung tajam, akan membentuk sistem pusaran pada sekitar pilar, sehingga kedalaman gerusan maksimum akan terjadi di ujung hilir pilar.

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan merupakan percobaan laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun. Percobaan-percobaan ini dilakukan dengan menggunakan flume persegi yang dilengkapi dengan perangkat sirkulasi air. Dimensi flume ini memiliki panjang 7200 mm, lebar 300 mm dan tinggi 400 mm, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Di sepanjang dinding flume, ditempatkan papan skala yang untuk mengukur elevasi aliran yang terjadi.



Sumber : Penulis, 2021

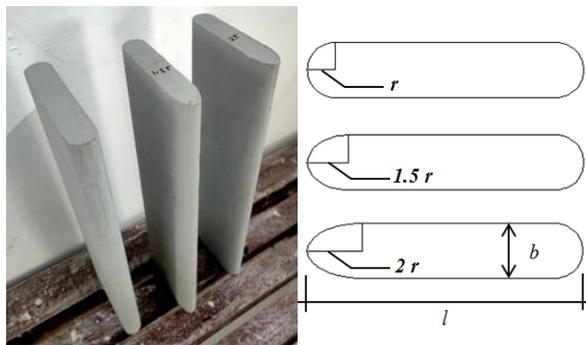
Gambar 3. Skema Saluran Terbuka

Kondisi aliran dalam percobaan ini adalah gerusan mengasumsikan tidak adanya angkutan sedimen (*clear water scour*) dan aliran tetap seragam (*steady uniform flow*) dengan dasar sungai yang memiliki kemiringan sebesar 0.2%. Pengujian untuk setiap prototipe pilar menggunakan dua variasi debit aliran (Q), dimana untuk pengaturan besaran debit ini dilakukan dengan mengatur katup bukaan pipa.

Material dasar saluran berupa pasir yang diambil dari sungai Oba, kabupaten Halmahera Barat. Namun untuk keseragaman material, maka material pasir yang digunakan adalah material yang lolos saringan No.40 dan tertahan di saringan No.200. Ketebalan material pasir sebagai dasar saluran ini adalah 100 mm, dimana sebelum percobaan dijalankan material pasir dibuat jenuh dan dibiarkan mengendap dengan berat sendirinya.

Model pilar yang digunakan dalam penelitian adalah pilar massif seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Prototipe pilar ini terbuat dari kayu yang dilapisi dengan cat anti air dimana geometri pilar memiliki lebar 20 mm, panjang 100 mm, dan tinggi 400 mm. Modifikasi bentuk hidung pilar menggunakan 3 (tiga) radius yang berbeda, yaitu : r , $1.5 r$ dan $2 r$.

Pengukuran kecepatan aliran dalam penelitian ini menggunakan current meter, adapun untuk kedalaman gerusan dilakukan dengan menggunakan laser meter dengan skala mm.



Sumber : Penulis, 2021

Gambar 4. Prototipe Pilar Massif

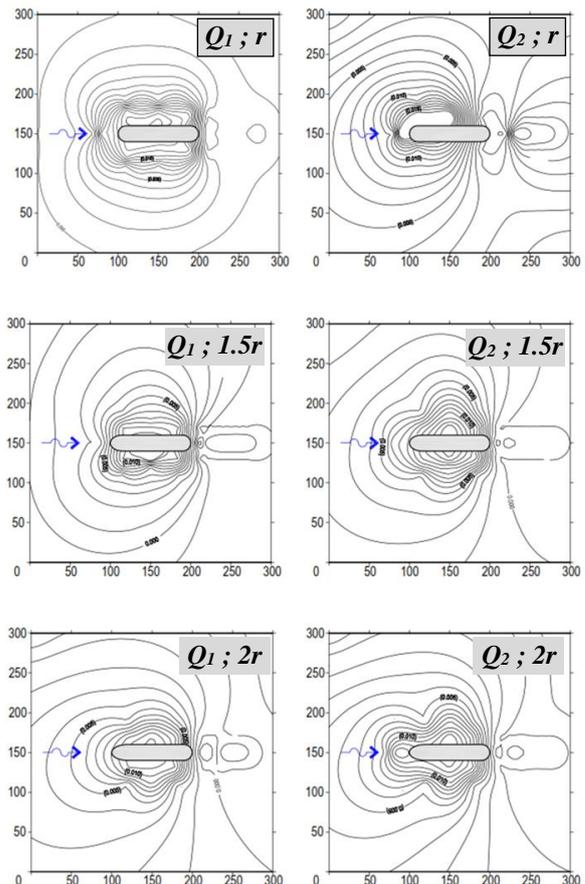
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Geometri Nose Pilar terhadap Pola Gerusan Lokal

Pengujian laboratorium ini mengkondisikan aliran yang terjadi adalah seragam permanen (*steady uniform flow*), dimana parameter-parameter aliran seperti : tinggi muka air (h), kecepatan aliran (v) dan debit (Q) di sepanjang saluran adalah konstan terhadap waktu. Kemiringan saluran (s) yang digunakan pada pengujian ini adalah sebesar 0,4% dan kekasaran saluran tidak diperhitungkan. Variasi debit dilakukan dengan mengatur katup bukaan pipa dalam pengujian ini menggunakan 2 variasi debit, yaitu : $Q_1 = 0,27$ l/dtk atau $270 \text{ cm}^3/\text{detik}$ dengan tinggi muka air (h_1) sebesar 3 cm dan $Q_2 = 0,360$ l/dtk atau $360 \text{ cm}^3/\text{detik}$ dengan (h_2) = 4 cm. .

Gambar 5 memperlihatkan pola gerusan yang terjadi akibat variasi debit dan model pilar. Dari gambar tersebut memperlihatkan bahwa pola yang terbentuk memiliki kecenderungan yang sama. Kecenderungan ini terlihat dari gerusan lokal terbesar terjadi pada sisi pilar dan pada bagian hilir terjadi aggradasi pada dasar saluran.

Pola gerusan ini memperlihatkan bahwa pada Q_2 memberikan kontur yang lebih rapat dibandingkan dengan Q_1 . Hal ini tentu saja menjelaskan bahwa debit menjadi faktor yang sangat penting dalam pembentukan pola dan kedalaman gerusan (Khan, et al., 2017). Adapun pengaruh hidung pilar terhadap pola gerusan menunjukkan bahwa semakin besar radius, maka pola yang terbentuk akan lebih memanjang hal ini seperti yang dikemukakan oleh (Farooq & Ghumman, 2019)



Sumber : Penulis, 2021

Gambar 5. Pola gerusan lokal akibat variasi radius dan debit.

4.2 Pengaruh Radius Hidung Pilar terhadap Kedalaman Gerusan Lokal

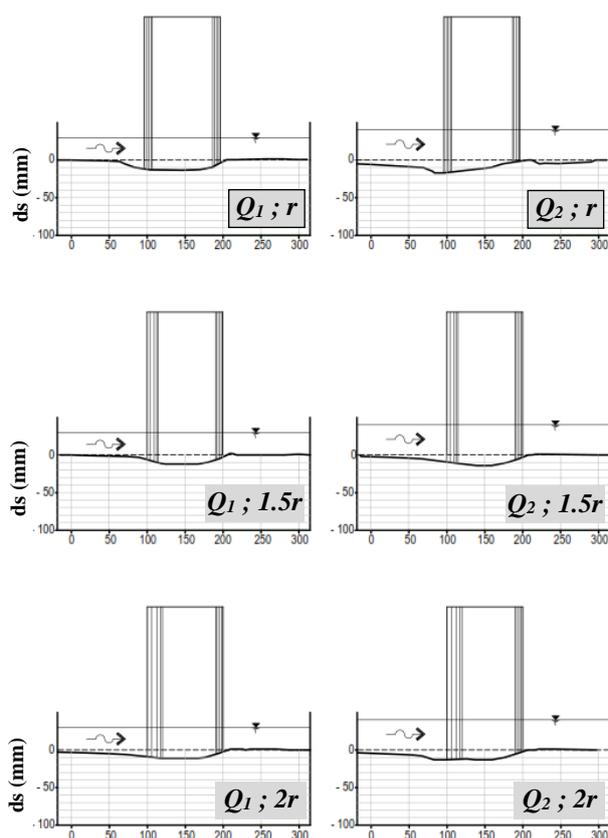
Kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar dalam penelitian diukur setelah running percobaan selama 30 menit. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa Debit dan radius hidung pilar berpengaruh terhadap kedalaman gerusan lokal disekitar pilar jembatan. Gerusan terkecil terjadi pada kondisi Q_1 dan $2R$ dengan kedalaman gerusan (ds) sebesar 11 mm, adapun gerusan terbesar terjadi pada kondisi Q_2 dan $1R$ dengan kedalaman gerusan (ds) sebesar 14 mm. Hasil penelitian secara keseluruhan untuk pengaruh variasi debit dan radius pilar terhadap kedalaman gerusan diperlihatkan pada Tabel 1, dimana semakin besar debit yang terjadi maka semakin besar gerusan yang terjadi, namun nilai ini berbanding terbalik dengan radius hidung pilar.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Gerusan Lokal

Debit \ Radius		R1	R2	R3
		1 cm	1.5 cm	2 cm
Q1	0.0027	0.013	0.013	0.011
Q2	0.0048	0.014	0.014	0.013

Sumber : Penulis, 2021

Gambar 6 merupakan sketsa pengaruh debit dan hidung pilar dimana dapat terlihat bahwa debit berpengaruh besar terhadap pembentukan gerusan lokal, sementara dengan modifikasi hidung pilar akan mereduksi terjadinya gerusan lokal pada dasar sungai. Selain itu, hasil ini juga memperlihatkan bahwa pada pilar dengan radius 1 cm gerusan lokal maksimum terjadi pada bagian hulu, sementara semakin besar radius pilar maka gerusan lokal maksimum cenderung terjadi pada bagian hilir pilar.



Sumber : Penulis, 2021

Gambar 6. Pola gerusan lokal akibat variasi radius dan debit.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka kesimpulan yang dapat diperoleh adalah :

- Radius hidung pilar mempengaruhi pola gerusan yang terbentuk, dimana pola cenderung memanjang seiring dengan semakin besarnya radius.
- Semakin besar radius hidung pilar, maka semakin kecil gerusan yang akan terbentuk.

5.2. Saran

Dalam pengukuran kedalaman gerusan loka sebaiknya mempergunakan alat pengukuran yang memiliki presisi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Breusers, H., Nicollet, G. & Shen, H., 1977. Local Scour Around Cylindrical Piers. *Journal of Hydraulic Research*, pp. 211-252.
- Chang, H., 1988. *Fluvial Process in River Engineering*. s.l.:John Wiley & Sons, 1988..
- Dargahi, B., 1990. Controlling Mechanism of Local Scouring. *Journal of Hydraulc Engineering*, Volume 116, pp. 1197-1214.
- 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.
- Farooq, R. & Ghumman, A. R., 2019. Impact Assessment of Pier Shape and Modifications on Scouring around Bridge Pier. *Water*, pp. 1-21.
- Garde, R. J. & Kothyari, U. C., 1998. Scour Around Bridge Piers. *Pinsa*, pp. 569-580.
- Ikhsan, J. & Hidayat, W., 2006. Pengaruh Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Potensi Gerusan Lokal. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, pp. 124-132.
- Jalal, K. H. & Waqed H. Hassan, W., 2020. *Effect of Bridge Pier Shape on Depth of Scour*. s.l., IOP Conference Series : Material and Engineering.
- Kattell, J. & Eriksson, M., 1998. *Bridge scour evaluation: Screening, Analysis, & Countermeasures*. s.l.:s.n.
- Khan, M. et al., 2017. Experimental Analysis of the Scour Pattern Modeling of Scour Depth Around Bridge Piers. *Arab J Sci Eng*.
- Laursen, E. M. & Toch, A., 1956. Scour Around Bridge Piers And Abutments.
- Mohammed, T. A. et al., 2007. Physical Modeling of Local Scouring around Bridge Piers in Erodeable Bed. *Journal King Saud University*, pp. 195-207.
- Parker, G., Bratton, L. & Armstrong, D., 1997. *Stream stability and scourassessments at bridges in Massachusetts*, Massachusetts: Massachusetts Highway Dept. Bridge Section.
- Pasha, M. M., Mahmood, A. H. & Shams, S., 2016. An Analysis of Scouring Effects on Various Shaped Bridge Piers. *Brunei Darussalam Journal of Technology and Commerce*, pp. 29-42.
- Roy, C., 2017. Effect of Bridge Pier Geometry on Local Scouring. *International Journal of Earth Science and Engineering*, 10(2), pp. 374-377.
- Shen, H., 1971. *Scour Near Piers River Mechanics*. Colorado: FT. Collins.
- Webb, D. et al., 2002. Ground Penetrating Radar (Gpr): A Tool For Monitoring Bridge Scour.