

MEKANISME PERILAKU GERUSAN LOKAL PADA PILAR TUNGGAL DENGAN VARIASI DIAMETER

Nur Qudus

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES)
Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229, Telp. 024-8508102

Asih Suprpti Agustina

Jl. Gerilya no. 25 Rt 04/01 Brani, Sampang, Cilacap 53273

Abstract: River has a dynamical characteristic which can change in time and place dimension. In balance condition, the bridge pillar would disturb the flow, and the flow reaches a balance condition again after bed scouring. The scouring around bridge pillar is caused by vortex system. These research would study the depth of scouring around the bridge single pillar. The depth of scouring around the bridge pillar has been observed for 3.5 hours by using a set of recirculating sediment flum with 6 m long; 0.21 m width and 0.30 m height in quasi-steady uniform low. The model of pillar used was circular type having dimension diameter 21.95 mm; 26.25 mm; 32.95 mm; 41.75 mm and 47.50 mm. The depth of scouring was measured for every running, consist of diameter variation. Flow velocity around pillar was measured for every variation that caused a minimum scour. The pillar diameter that caused the minimum scouring was at the ground, with the diameter 21.95 mm, and the pillar diameter that caused the maximum scouring at diameter 47.50 mm.

Keywords: local scouring, single pillar, diameter variation

Abstrak: Sungai mempunyai sifat yang dinamis yang dapat berubah dalam dimensi ruang dan waktu. Pada saat kondisi seimbang, aliran akan terganggu dengan adanya pilar jembatan dan akan membentuk kondisi seimbang lagi yang menyebabkan gerusan dasar. Gerusan di sekitar pilar jembatan yang disebabkan oleh adanya sistem vortex. Penelitian ini akan mempelajari kedalaman gerusan lokal pada pilar tunggal jembatan. Kedalaman gerusan di sekitar pilar jembatan diamati selama 3,5 jam dilakukan pada satu *set recirculating sediment flume* dengan panjang 6 meter, lebar 0,21 meter dan tinggi 0,30 meter dengan kondisi aliran permanen seragam. Model pilar yang digunakan adalah tipe *circular* dengan dimensi diameter 21,95 mm; 26,25 mm; 32,95 mm; 41,75 mm dan 47,50 mm. Kedalaman gerusan diukur setiap *running* yang terdiri dari variasi diameter. Kecepatan aliran disekitar pilar diukur pada setiap variasi yang menyebabkan gerusan minimal terjadi. Diameter pilar yang menyebabkan gerusan minimal adalah pada dasar saluran dengan diameter 21,95 mm, dan diameter pilar yang menyebabkan gerusan maksimum pada diameter 47,50 mm.

Kata Kunci: gerusan lokal, pilar tunggal, variasi diameter

PENDAHULUAN

Sungai adalah alur air yang terbentuk secara alami di muka bumi yang mengalir dari mata air ke daerah alirannya menurut kondisi permukaan bumi yang akhirnya menuju ke daerah terendah.

Air yang mengalir terus menerus di dalam sungai akan mengakibatkan penggerusan tanah dasarnya, penggerusan yang terus menerus membentuk lubang-lubang gerusan di dasar sungai. Gerusan yang terjadi

akibat adanya suatu bangunan dinamakan sebagai gerusan lokal (*local scouring*), yang dapat didefinisikan sebagai penurunan tiba-tiba elevasi dasar di dekat pilar karena erosi dari material dasar sungai yang disebabkan rintangan yang dialami oleh aliran.

Adanya gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi di sekitar pilar jembatan yang berada pada dasar sungai yang bersifat granuler atau pasir, dapat menyebabkan terjadinya penurunan konstruksi. Bersama

dengan pengaruh *liquefaction* akibat getaran dari kendaraan yang lewat, gerusan lokal dapat menyebabkan kerusakan dan keruntuhan konstruksi.

Proses gerusan yang terjadi perlu dipelajari untuk mengetahui parameter aliran yang mempengaruhi gerusan lokal di sekitar pilar jembatan sehingga selanjutnya dapat dicari upaya pengendalian dan pencegahan gerusan pada pilar agar kerusakan dan keruntuhan konstruksi dapat dihindari.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran proses perkembangan gerusan terhadap waktu dan pola gerusan di sekitar pilar tunggal.

TINJAUAN PUSTAKA

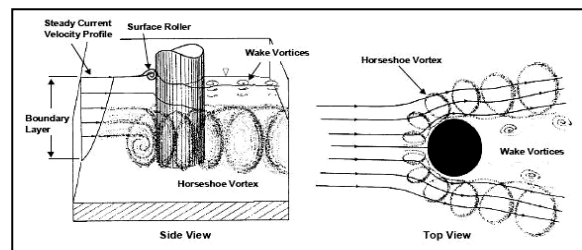
Proses erosi dan deposisi pada sungai pada umumnya terjadi karena perubahan pola aliran, terutama pada sungai *alluvial*. Perubahan pola aliran dapat terjadi karena terdapat rintangan atau halangan pada aliran sungai tersebut.

Menurut Raudkivi dan Ettema (Rinaldi, 2002) tipe gerusan adalah sebagai berikut: (1) Gerusan umum (*general scour*) di alur sungai; (2) Gerusan dilokalisasi di alur sungai; (3) Gerusan lokal di sekitar bangunan. Gerusan lokal termasuk tipe gerusan umum dan gerusan yang terjadi akibat penyempitan aliran.

Mempelajari proses gerusan, maka tidak lepas untuk mempelajari karakteristik sedimen yang ada. Tujuan dari transport sedimen adalah untuk mengetahui apakah pada keadaan tertentu akan terjadi keadaan seimbang (*equilibrium*), erosi (*erosion*), atau pengendapan (*deposition*) dan menentukan kuantitas yang terangkut dalam proses tersebut.

Jika struktur ditempatkan pada suatu arus air, aliran air di sekitar struktur tersebut akan berubah, dan gradien kecepatan vertikal (*vertical velocity gradient*) dari aliran akan berubah menjadi gradien tekanan (*pressure gradient*) pada ujung permukaan struktur tersebut. Gradien tekanan ini merupakan hasil dari aliran bawah yang membentur dasar saluran. Pada dasar struktur, aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah struktur dengan memenuhi seluruh aliran. Hal ini dinamakan *horseshoe vortex* (Miller, 2003).

Pada permukaan air, interaksi aliran dan struktur membentuk busur ombak (*bow wave*) yang disebut sebagai gulungan permukaan (*surface roller*). Pada saat terjadi pemisahan aliran pada struktur bagian dalam mengalami *wake vortices*.



Gambar 1. Mekanisme Gerusan Akibat Pola Aliran Air di Sekitar Pilar (Miller, 2003:6)

Pada umumnya tegangan geser (*shear stress*) meningkat pada dasar saluran bagian depan struktur. Bila dasar saluran mudah tergerus maka lubang gerusan akan terbentuk di sekitar struktur. Fenomena ini disebut gerusan lokal (*local or structure-included sediment scour*).

Beberapa Faktor yang dapat mempengaruhi kedalaman gerusan (Brauser, 1991: 67): (1) Pengaruh kecepatan aliran; (2) Pengaruh gradasi sedimen; (3) Pengaruh

ukuran pilar dan ukuran sedimen; (4) Pengaruh ketinggian aliran; (5) Pengaruh posisi pilar; (6) Pengaruh bentuk pilar.

Kedalaman gerusan untuk *clear water scour* dengan $\tau_o < \tau_{kr}$ pada pilar dapat dihitung dengan persamaan Laursen, sebagai berikut:

$$L_A = \frac{D_o}{D_s} \tau_{kr} \quad (1)$$

dengan:

- L_A = diameter pilar, m
- D_o = kedalaman aliran, m
- D_s = kedalaman gerusan, m

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian bahan (material dasar) untuk mengetahui spesifikasi bahan yang digunakan serta pengujian aliran untuk mengetahui jenis aliran dan debit. Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Hidraulika UNNES.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir, air, dan model pilar.

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Recirculating sediment flume* dengan panjang 6 m, tinggi 0,3 m dan lebar 0,21 m dengan sebuah pompa kapasitas 6 lt/dt.
2. Alat saring (mesin pengayak) untuk menyaring material dasar dapat memberikan analisis distribusi butiran.
3. Pintu air untuk mengatur ketinggian muka air.

4. *Point gauge* untuk mengukur kedalaman gerusan di sekitar pilar.
5. Pengolah data numerik (*Spread sheet*) dengan *Excell*, dan *Surfer* untuk menampilkan kontur permukaan di sekitar model pilar.

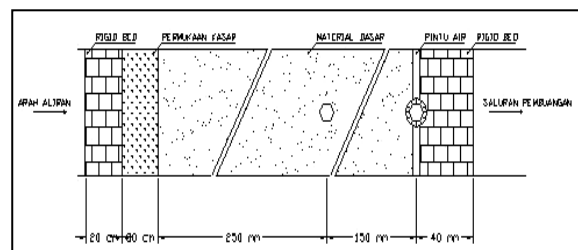
Model Pilar

Model pilar dalam penelitian ini adalah model pilar silinder dengan diameter 21,95; 26,25; 32,95; 41,75; dan 47,50 mm.

Prosedur Penelitian

1. Kalibrasi alat *Recirculating sediment flume*, untuk mendapatkan data percobaan yang lebih akurat.
2. Menyiapkan material dasar pasir yang relatif seragam dan model pilar.

Material dasar ditebar sepanjang *flume* dengan ketinggian 100 mm. Dibagian hulu dan hilir saluran dipasang *rigid bed* sedangkan model pilar diletakkan di tengah *flume* dengan jarak 3,5 m dari hulu.



Gambar 2. Skema *Flume* Tampak Atas

3. Selanjutnya pompa dihidupkan, elevasi muka air diatur untuk memperoleh kedalaman aliran yang seragam pada titik pengamatan.
4. Proses terjadinya gerusan di sekitar pilar diamati dan kedalaman gerusan dicatat dalam selang waktu tertentu, yaitu 1-10 menit dicatat setiap selang waktu 1 menit, 10-40 menit dicatat setiap selang waktu 5

menit, 40-70 menit dicatat setiap selang waktu 10 menit, 70-210 menit dicatat selang waktu 15 menit, selama kurang lebih 3,5 jam.

- Pengamatan dihentikan setelah berlangsung *running* selama 3,5 jam dan debit diperkecil secara perlahan-lahan, kemudian pompa dimatikan, dan saluran dikeringkan.

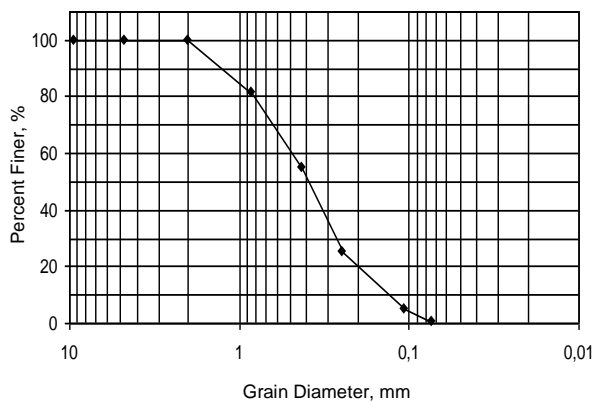
Data kontur dibaca setelah saluran kering dan diukur dengan menggunakan *point gauge*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Material dasar yang digunakan adalah pasir alam yang lolos saringan ASTM no. 10 dengan nilai $d_{50} : 0,39$.

Tabel 1. Analisa Gradasi Butiran

Ayakan No.	Ayakan Dalam (mm)	Berat Tertahan (gr)	Barat Lolos (gr)	% brt lolos = $\frac{e/W}{100\%}$
4	4,750	$d_1 = 0$	$E_1 = 900,00$	100,00
10	2,000	$d_2 = 0$	$E_2 = 900,00$	100,00
20	0,850	$d_3 = 168,2$	$E_3 = 731,80$	81,31
40	0,425	$d_4 = 237$	$E_4 = 494,80$	54,98
60	0,250	$d_5 = 269,2$	$E_5 = 225,60$	25,07
140	0,106	$d_6 = 179,7$	$E_6 = 45,90$	5,10
200	0,074	$d_7 = 42,8$	$E_7 = 3,10$	0,34
$\Sigma d = 896,90$				



Gambar 3. Grain Diameter

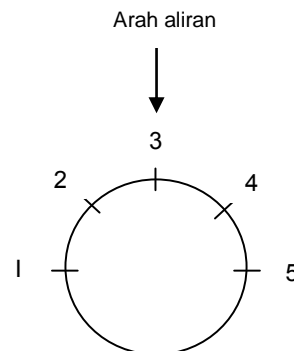
Pola Aliran

Pada penelitian ini digunakan debit $Q = 3,54$ lt/dt, kecepatan $U = 0,187$ m/dt dan kedalaman $y_0 = 90$ mm. Kecepatan aliran kritis, $U_c = 0,255$ m/dt. Aliran yang terjadi adalah aliran sub kritis, dengan bilangan Froude, Fr lebih kecil dari 1 ($Fr < 1$), intensitas aliran $U/U_c = 0,73$ dan angka Reynold $Re = 16830$. Hasil pola aliran di sekitar pilar silinder berawal dari pola aliran yang seimbang dari hulu, setelah sampai di pilar bagian hulu air mengalami kenaikan ketinggian, tampak juga air di pilar bagian hulu pada waktu mengenai pilar sebagian bergerak turun, yang mengakibatkan pusaran pada samping kiri dan samping kanan pilar. Setelah fenomena pusaran pada bagian samping pilar berkurang, ketinggian air pada bagian belakang pilar mengalami kenaikan dan air akan bergerak ke hilir dengan keadaan seimbang seperti di hulu sebelum mengenai pilar.

Perkembangan Kedalaman Gerusan Terhadap Waktu

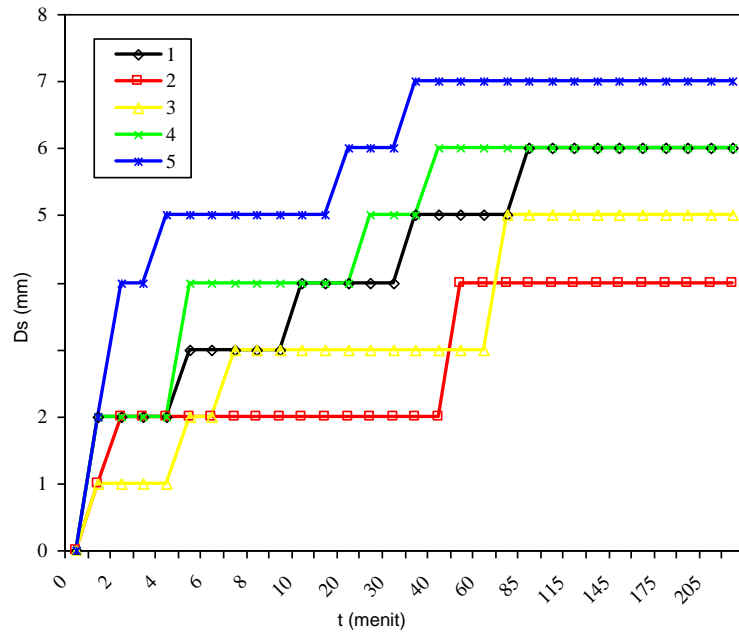
Pengukuran kedalaman gerusan di sekitar pilar dilakukan pada 5 (lima) titik pengamatan, yaitu bagian depan dan samping pilar.

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut:



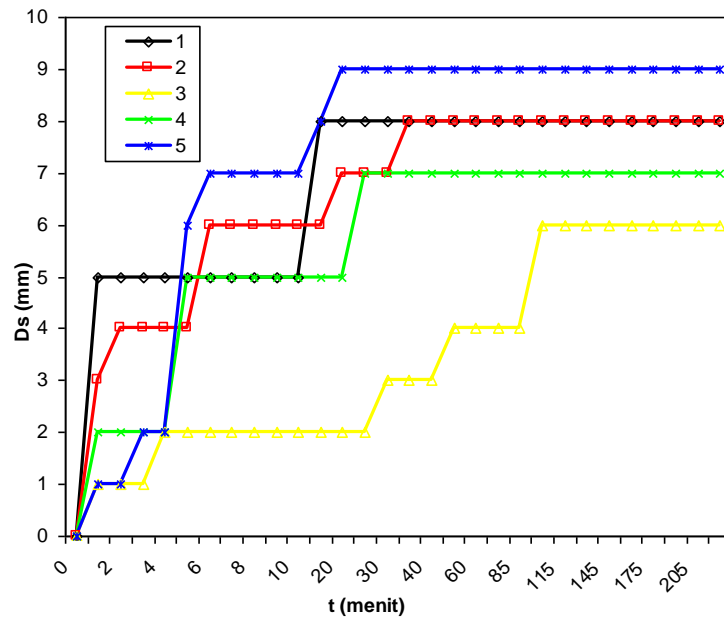
Gambar 4. Titik Pengukuran Kedalaman Gerusan

a. Pilar Diameter 21,95 mm



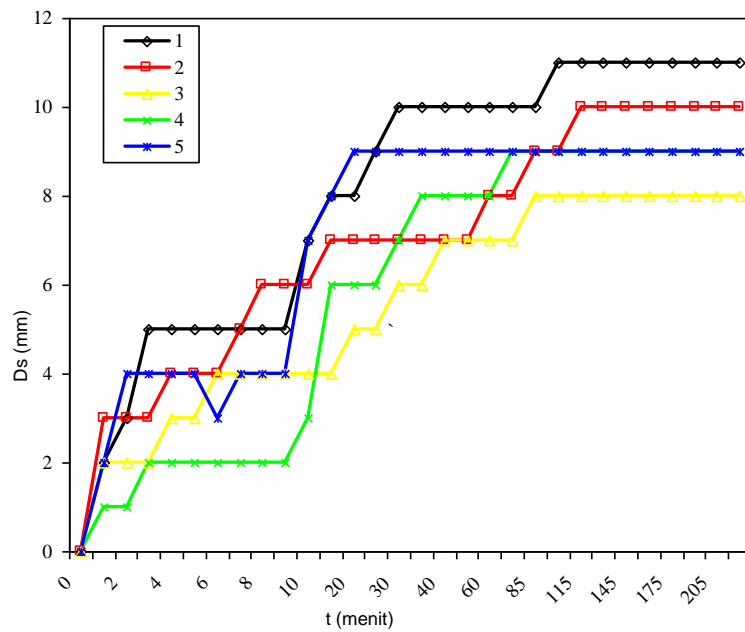
Gambar 5. Fluktuasi Kedalaman Gerusan pada Pilar Diameter 21,95 mm

b. Pilar Diameter 26,25 mm



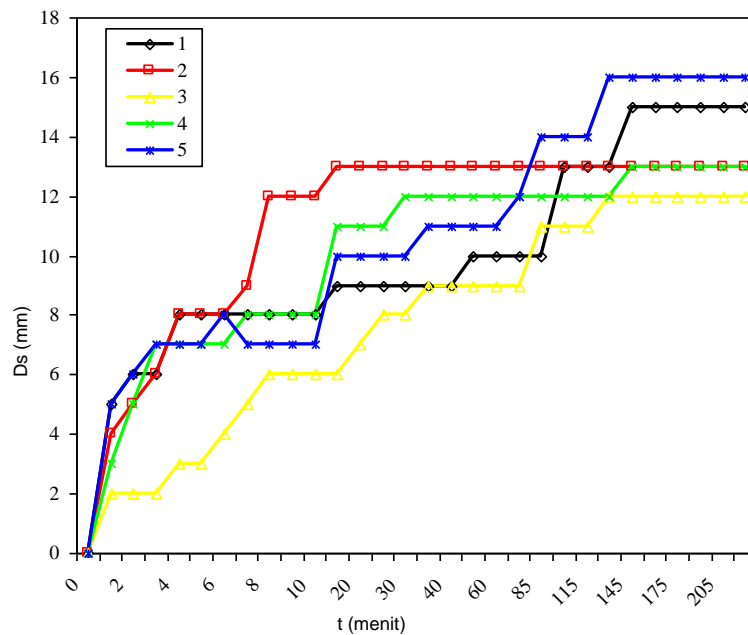
Gambar 6. Fluktuasi Kedalaman Gerusan pada Pilar Diameter 26,25 mm

c. Pilar Diameter 32,95 mm



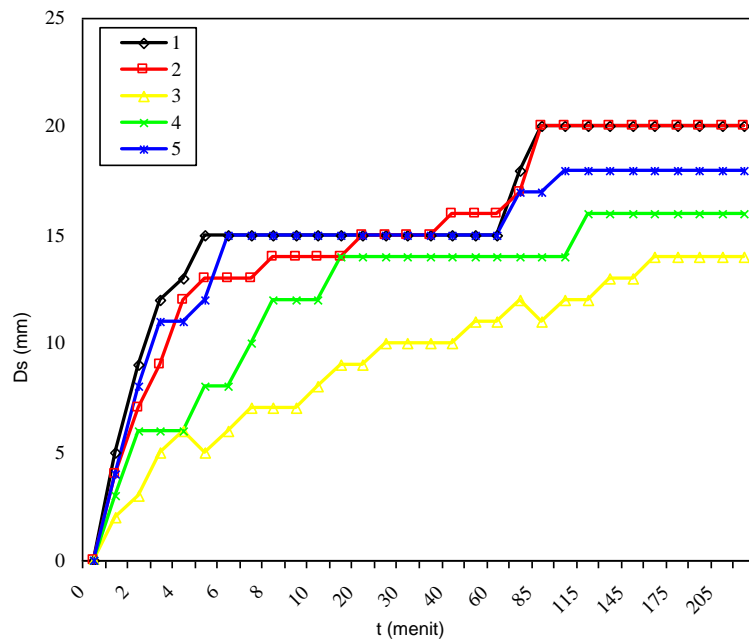
Gambar 7. Fluktuasi Kedalaman Gerusan pada Pilar Diameter 32,95 mm

d. Pilar Diameter 41,75 mm



Gambar 8. Fluktuasi Kedalaman Gerusan pada Pilar Diameter 41,75 mm

e. Pilar Diameter 47,50 mm



Gambar 9. Fluktuasi Kedalaman Gerusan pada Pilar Diameter 32,95 mm

Dari hasil kelima variasi pilar terhadap kedalaman gerusan nampak bahwa pada awal pengamatan, penambahan kedalaman gerusan berlangsung cepat pada menit-menit awal. Kedalaman gerusan terus bertambah seiring dengan pertambahan waktu. Selanjutnya peningkatan kedalaman gerusan semakin mengecil sampai tercapainya kondisi keseimbangan.

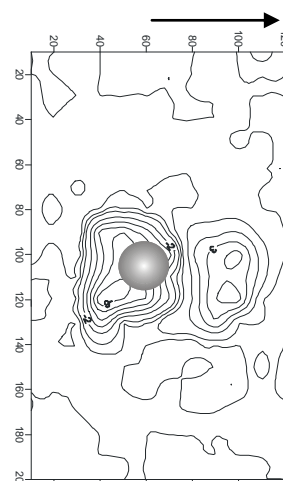
berkurang dan kembali stabil setelah menjauh ke arah hilir. Terlihat bahwa perubahan lubang gerusan dimulai dari bagian samping pilar menyebar ke arah hilir setelah melewati pilar, kedalaman dan pola gerusan lain juga ditimbulkan namun kedalaman gerusan yang dihasilkan tidak begitu efektif.

Kontur Gerusan dan Perspektif Kontur Gerusan

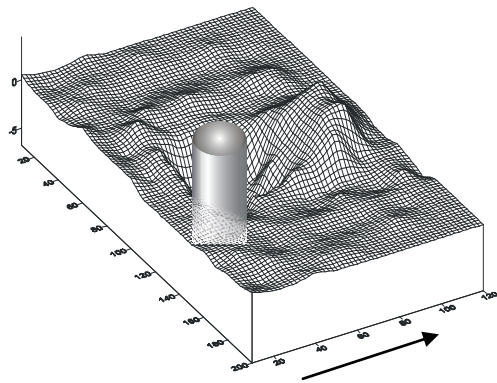
Bentuk kontur yang mendekati pilar cenderung rapat, hal ini disebabkan proses gerusan karena aliran yang terkena hambatan pilar lebih intensif.

Pada Gambar kontur menunjukkan pola gerusan akibat adanya pilar semakin ke hilir garis kontur yang dihasilkan semakin sedikit. Dapat disimpulkan bahwa aliran dari hulu yang melewati pilar, proses gerusan akan semakin

a. Pilar Diameter 21,95 mm

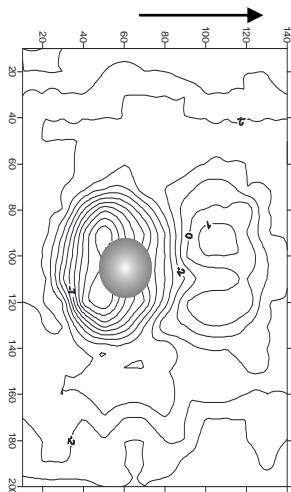


Gambar 10. Kontur Pola Gerusan pada Pilar Diameter 21,95 mm

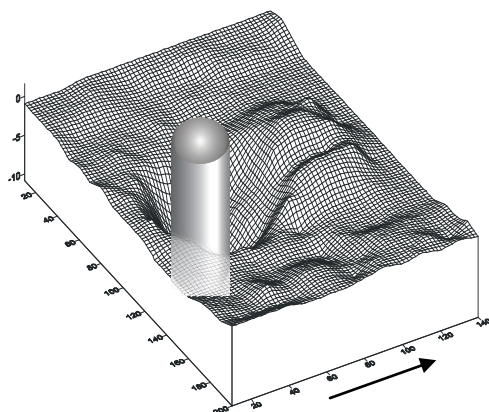


Gambar 11. Kontur Perspektif Gerusan pada Pilar Diameter 21,95 mm

b. Pilar Diameter 26,25 mm

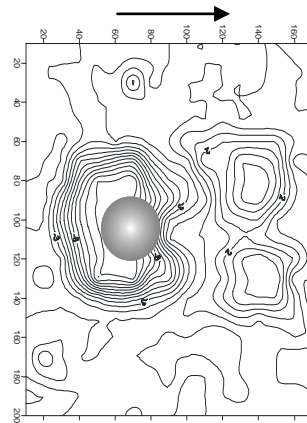


Gambar 12. Kontur Pola Gerusan pada Pilar Diameter 26,25 mm

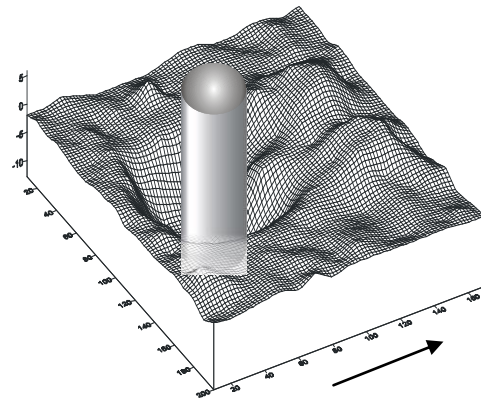


Gambar 13. Kontur Perspektif Gerusan pada Pilar Diameter 26,25 mm

c. Pilar Diameter 32,95

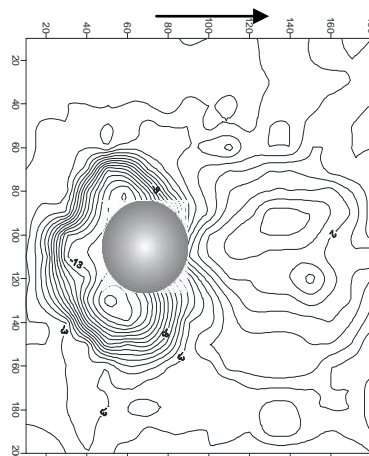


Gambar 14. Kontur Pola Gerusan pada Pilar Diameter 32,95 mm

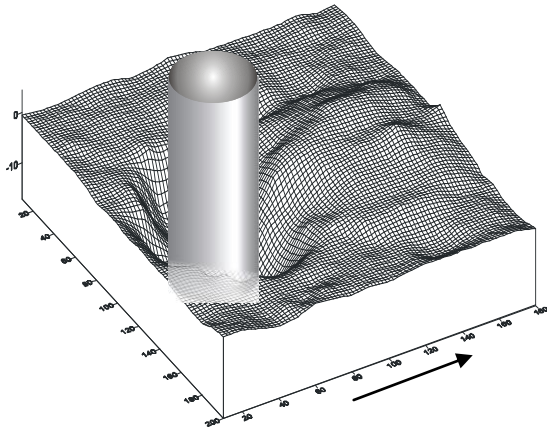


Gambar 15. Kontur Perspektif Gerusan pada Pilar Diameter 32,95 mm

d. Pilar Diameter 41,75 mm

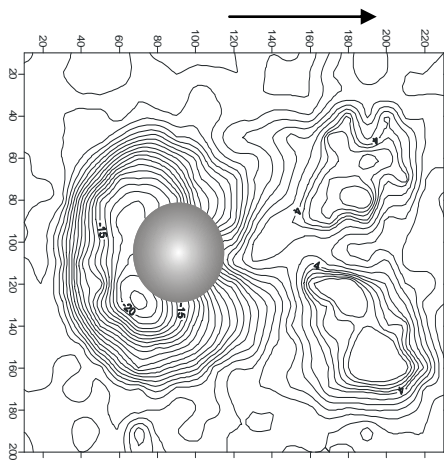


Gambar 16. Kontur Pola Gerusan pada Pilar Diameter 41,75 mm

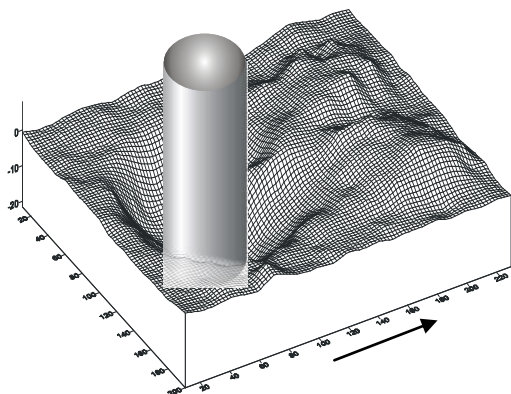


Gambar 17. Kontur Perspektif Gerusan pada Pilar Diameter 41,75 mm

e. Pilar Diameter 47,50 mm



Gambar 18. Kontur Pola Gerusan pada Pilar Diameter 47,50 mm



Gambar 19. Kontur Perspektif Gerusan Pada Pilar Diameter 47,50 mm

Gambar kelima kontur dapat diasumsikan bahwa dasar bentuk kontur di sekitar pilar sama dengan kedalaman gerusan, bagian muka pilar mempunyai kontur yang lebih rapat karena proses gerusan lebih besar yang diakibatkan oleh pengaruh aliran. Arus dari atas yang turun ke dasar pilar menyebabkan gerak rotasi dari aliran sehingga aliran menggerus pada bagian dasar sedimen. Bentuk garis kontur yang agak renggang pada bagian hilir pilar dikarenakan pusaran air yang semakin berkurang sehingga pengaruhnya relatif tidak begitu besar terhadap kedalaman gerusan. Pada bagian hulu pilar, pola gerusan akan berkurang dan mendekati nilai stabil setelah melewati pilar menuju arah hilir.

Pada gambar kontur kelima variabel di bagian hilir pilar terjadi pendangkalan gerusan yang disebabkan perubahan aliran di bagian hilir, aliran ini disebut sebagai *wake vortex*, aliran tersebut lebih lambat sehingga aliran angkutan sedimen lebih lambat atau berhenti di bagian hilir pilar. Terjadi ketinggian permukaan di bagian hilir pilar dengan asumsi bahwa gerusan di bagian titik terendah pada hulu pilar, sedimen terangkut ke bagian hilir dan terjadi penumpukan akibat perubahan aliran.

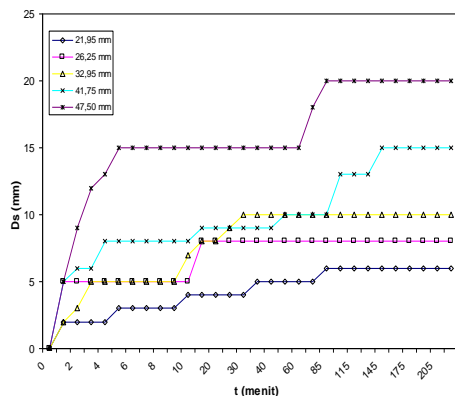
Hasil pola gerusan dari kelima variabel selaras dengan pendapat (Legono,1991) dalam Munadi (2002:59) bahwa mekanisme gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar merupakan akibat adanya sistem pusaran atau *vortex system* yang timbul karena aliran dirintangi oleh pilar tersebut. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan tersebut bermula di sebelah hulu pilar yaitu pada saat mulai timbulnya komponen aliran pada arah ke bawah, di dekat bawah komponen kecepatan aliran akan berbalik arah vertikal dan peristiwa

ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral di daerah lubang gerusan. Bentuk lubang gerusan akan menyerupai telapak kaki kuda, sistem semacam ini disebut dengan pusaran telapak kaki kuda (*horseshoe vortex*).

Dari kelima variabel pilar tersebut dapat dikatakan bahwa kedalaman gerusan yang paling dominan terjadi pada pilar dengan diameter 47,50 mm yang mempunyai kedalaman 20 mm diukur dari ketinggian permukaan material. Pilar yang mempunyai pola gerusan paling panjang adalah pilar dengan diameter 47,50 mm.

Kedalaman Gerusan Lokal dengan Variasi Diameter Pilar

Kedalaman gerusan maksimum untuk setiap pilar pada gambar berikut:



Gambar 20. Kedalaman Gerusan Maksimum pada Pilar Tunggal

Pada gambar 20 terlihat kedalaman gerusan yang terjadi pada masing-masing pilar dengan waktu *running* yang sama yaitu, pada pilar dengan diameter 21,95 mm kedalaman gerusan maksimum yang terjadi sebesar 7 mm. Pada pilar dengan diameter 26,25 mm, kedalaman gerusan maksimum yang terjadi sebesar 9 mm. Pada pilar dengan diameter 32,95 mm kedalaman gerusan maksimum yang

terjadi sebesar 11 mm. Pada pilar diameter 41,75 mm kedalaman gerusan maksimum yang terjadi sebesar 16 mm. Untuk pilar diameter 47,50 mm kedalaman gerusan maksimum yang terjadi sebesar 20 mm.

Dapat diasumsikan bahwa dari kelima variabel, kedalaman gerusan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya atau peningkatan variasi diameter. Posisi kedalaman gerusan maksimum pada kelima variabel terletak di samping pilar. Hal ini terjadi karena dominasi penyempitan aliran, semakin sempit aliran maka kecepatan aliran semakin besar.

Dari hasil penelitian kelima variabel dapat kita ketahui bahwa disini terjadi dua macam proses gerusan, yaitu gerusan lokal di sekitar bangunan yang terjadi karena pola aliran lokal di sekitar bangunan/model pilar, dan gerusan dilokalisir di alur sungai yang terjadi karena penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi lebih terpusat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kedalaman gerusan mengalami penambahan dengan cepat pada menit-menit awal dan perubahan kedalaman semakin mengecil hingga mendekati keseimbangan.
2. Posisi kedalaman gerusan maksimum pada samping pilar, hal ini terjadi karena dominasi penyempitan aliran, semakin sempit aliran maka kecepatan semakin besar.
3. Kedalaman gerusan maksimum yang terjadi pada masing-masing pilar semakin meningkat seiring dengan peningkatan variasi diameter pilar, dalam penelitian ini terjadi dua macam gerusan, yaitu gerusan lokal disekitar model pilar yang terjadi

karena pola aliran di sekitar model dan gerusan dilokalisir di alur sungai yang terjadi karena penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi lebih terpusat.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lain, misalnya dengan variasi kecepatan atau debit dan variasi bentuk pilar.
2. Hasil penelitian ini masih perlu dikaji lebih lanjut dan dikembangkan lagi sehingga dapat disesuaikan dengan fenomena yang terjadi di lapangan.
3. Perlu dilanjutkan dengan upaya mereduksi gerusan pada pilar di sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Breuser. H.N.C, Raudkivi. A.J.. 1991. *Scouring*, IAHR Hydraulic Structure design Manual. Rotterdam: AA Balkema.
- Hoffman, G.J.C.M. and Verheij. H.J. 1997. *Scour Manual*. Rotterdam: AA Balkema.
- Miller Jr, William. 2003. *Model For The Time Rate Of Local Sediment Scour At A Cylindrical Structure*. Desertation of University of Florida. <http://www.dot.state.fl.us/rddesign/dr/research/time/%20rate%20of%20lokal%20scour%20-%20miller.pdf>. Florida.
- Nghien. T.D.. 2003. *Current Research on Local Scour at Bridge Pier in Viet Nam*, Viet Nam: University of Transport and Communication.
- Rinaldi. 2001. *Model Fisik Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan*. Tesis. Tidak diterbitkan. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Pascasarjana, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2003. *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.

