

PENGARUH KECEPATAN ALIRAN TERHADAP GERUSAN LOKAL PADA PILAR JEMBATAN DENGAN PERLINDUNGAN GROUNDSILL

Sucipto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES)
Gedung E4, Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229, Telp. (024) 8508102

Abstract: Local scouring which occurred on a bridge pillar at the bottom of rivers that are granular (sand) can cause degradation of construction that result in instability of the bridge construction itself. Along with the influence liquifaction due to vibration from construction vehicles crossing the bridge, local scour will cause damage and the collapse of the bridge. The process of scouring characterized by the migration of sediment that covers the basic pillars of the bridge and river erosion that occurred would follow the pattern of flow. Effect of flow velocity will be more dominant so that the cause of exit and entry occurs elementary particles into the scour hole, but the depth is fixed or constant. In an equilibrium state the maximum depth will be greater than the mean depth of scour. Research the influence of flow velocity on local scour at bridge pier with groundsill protection is done in clear-water-Scour. The result showed that the maximum scour depth at cylindrical pillar for running the model (M1) occurred at a speed of 0.267 m / s is equal to 42 mm while the minimum scour depth occurs at a speed of 0.157 m / s is equal to 3 mm. At the same flow rate, placement on the downstream groundsill pillar causes the depth of the flow around a cylinder pillar is higher than the model (M1) so that the depth of scour around cylindrical pillar is smaller than the model (M1) with an average reduction rate of the overall running on various velocity variation of 61.49%.

Keywords: the flow velocity, local mashed, pillar bridge, groundsill

Abstrak: Gerusan lokal yang terjadi pada pilar jembatan yang berada pada dasar sungai yang yang bersifat granuler (pasir) dapat menyebabkan terjadinya degradasi konstruksi yang berakibat pada ketidakstabilan konstruksi jembatan itu sendiri. Bersamaan dengan pengaruh *liquifaction* akibat getaran dari kendaraan yang melintasi konstruksi jembatan, gerusan lokal akan dapat menyebabkan kerusakan dan keruntuhan jembatan. Proses terjadinya gerusan ditandai dengan berpindahnya sedimen yang menutupi pilar jembatan serta erosi dasar sungai yang terjadi akan mengikuti pola aliran. Pengaruh kecepatan aliran akan lebih dominan sehingga menjadi penyebab terjadi keluar dan masuknya partikel dasar ke dalam lubang gerusan, namun kedalaman tetap atau konstan. Dalam keadaan setimbang kedalaman maksimum akan lebih besar dari rerata kedalaman gerusan. Penelitian pengaruh kecepatan aliran terhadap gerusan lokal pada pilar jembatan dengan perlindungan groundsill ini dilakukan pada *clear-water-scour*. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kedalaman gerusan maksimum pada pilar silinder untuk model *running* (M1) terjadi pada kecepatan 0,267 m/s yaitu sebesar 42 mm sedangkan kedalaman gerusan minimum terjadi pada kecepatan 0,157 m/s yaitu sebesar 3 mm. Pada kecepatan aliran yang sama, penempatan *groundsill* pada hilir pilar menyebabkan kedalaman aliran di sekitar pilar silinder lebih tinggi dari model (M1) sehingga kedalaman gerusan di sekitar pilar silinder lebih kecil dari model (M1) dengan angka reduksi rata-rata dari keseluruhan *running* pada berbagai variasi kecepatan sebesar 61,49 %.

Keywords: kecepatan aliran, gerusan lokal, pilar jembatan, groundsill.

PENDAHULUAN

Latar belakang

Penempatan *groundsill* di hilir pilar bertujuan agar sedimen yang terbawa oleh aliran air akibat gerusan lokal pada pilar jembatan dapat tertahan sehingga material dasar di sekitar pilar tidak mengalami

penurunan yang signifikan yang dapat menyebabkan ketidakstabilan konstruksi pilar jembatan.

Gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi pada pilar jembatan yang berada pada dasar sungai yang yang bersifat *granuler* (pasir) dapat menyebabkan terjadinya degradasi

konstruksi yang berakibat pada ketidakstabilan konstruksi jembatan itu sendiri. Bersamaan dengan pengaruh *liquefaction* akibat getaran dari kendaraan yang melintasi konstruksi jembatan, gerusan lokal akan dapat menyebabkan kerusakan dan keruntuhan jembatan.

Demikian juga apabila tidak terdapat bangunan pengendali gerusan disekitar pilar jembatan maka dalamnya gerusan tidak akan dapat direduksi, sehingga kedalaman gerusan bisa mencapai maksimum. Hal ini menyebabkan rusaknya pilar jembatan. Untuk itu perlu adanya upaya pengendalian terhadap gerusan di sekitar pilar jembatan. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menempatkan *ground sill* di bagian hilir pilar.

Proses terjadinya gerusan ditandai dengan berpindahnya sedimen yang menutupi pilar jembatan serta erosi dasar sungai yang terjadi akan mengikuti pola aliran. Proses terus berlanjut dan lubang gerusan akan semakin berkembang, semakin lama semakin besar dengan mencapai kedalaman tertentu (maksimum). Pengaruh kecepatan aliran akan lebih dominan (U/U_c) sehingga menjadi penyebab terjadi keluar dan masuknya partikel dasar ke dalam lubang gerusan, namun kedalaman tetap atau konstan. Dalam keadaan setimbang kedalaman maksimum akan lebih besar dari rerata kedalaman gerusan.

Proses gerusan yang terjadi perlu dipelajari untuk diketahui parameter aliran yang mempengaruhi gerusan lokal di sekitar konstruksi pilar jembatan dengan menempatkan *ground sill* pada bagian hilirnya, sehingga selanjutnya dapat dipelajari pengaruh kecepatan aliran terhadap pola gerusan lokal di sekitar pilar jembatan dengan perlindungan *ground sill*.

Gerusan Lokal

Proses erosi dan deposisi umumnya terjadi karena perubahan pola aliran terutama pada sungai alluvial. Perubahan pola aliran terjadi karena adanya halangan pada aliran sungai tersebut, berupa bangunan sungai seperti pilar jembatan dan abutment. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal di sekitar bangunan (Legono dalam Mira, 2004 : 5).

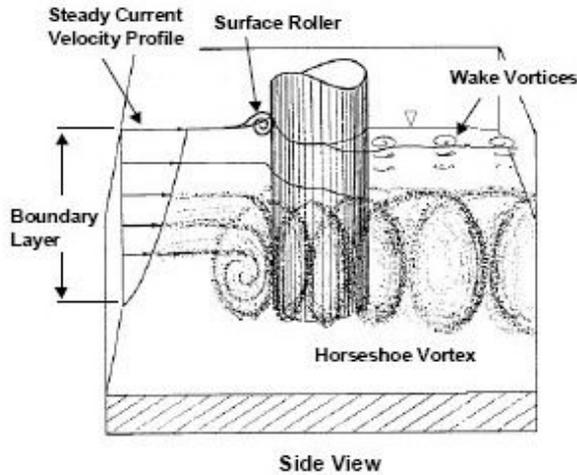
Laursen (1952) dalam Hanwar (1999:4) mendefinisikan gerusan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal (*local scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran di mana sedimen ditransport lebih besar dari sedimen yang disuplai. Transport sedimen bertambah dengan meningkatnya tegangan geser sedimen, gerusan terjadi ketika perubahan kondisi aliran menyebabkan peningkatan tegangan geser dasar.

Mekanisme Gerusan

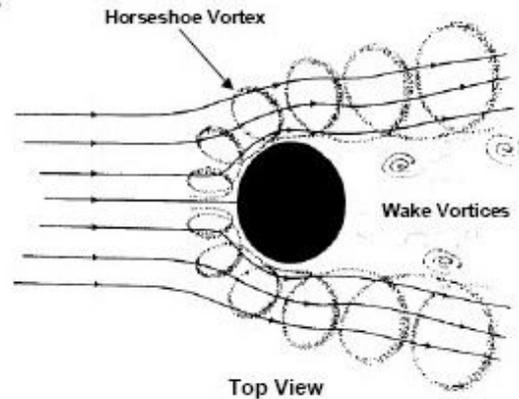
Menurut Miller (2003:6) dalam Wibowo (2007:12), jika struktur ditempatkan pada suatu arus air, aliran air di sekitar struktur tersebut akan berubah, dan gradien kecepatan vertikal (*vertical velocity gradient*) dari aliran akan berubah menjadi gradien tekanan (*pressure gradient*) pada ujung permukaan struktur tersebut. Gradien tekanan (*pressure gradient*) ini merupakan hasil dari aliran bawah yang membentur *bed*. Pada dasar struktur, aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah struktur dengan memenuhi seluruh aliran. Hal ini dinamakan pusaran tapal kuda (*horseshoe*

vortex), karena dilihat dari atas bentuk pusaran ini mirip tapal kuda.

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*.



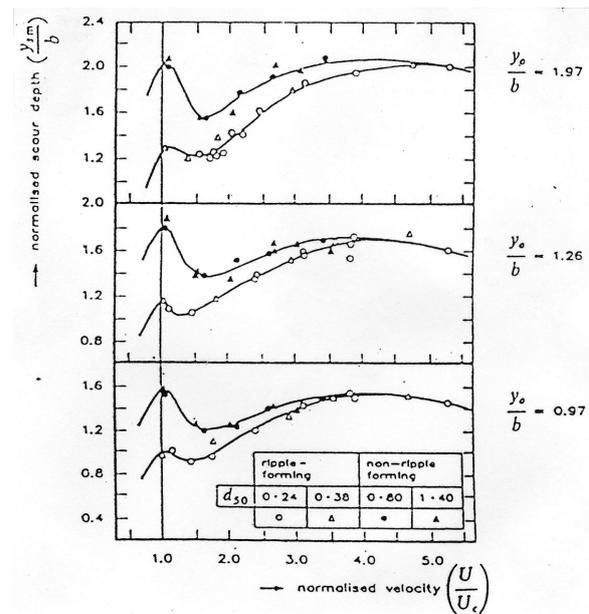
Gambar 1. Mekanisme Gerusan Akibat Pola Aliran Air di Sekitar Pilar (Sumber : Miller, 2003:6)

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

Kecepatan aliran pada alur sungai

Kedalaman gerusan lokal maksimum rerata di sekitar pilar sangat tergantung nilai relatif kecepatan alur sungai (perbandingan antara kecepatan rerata aliran dan kecepatan geser), nilai diameter butiran (butiran seragam/tidak seragam) dan lebar pilar. Dengan demikian maka gerusan lokal maksimum rerata tersebut merupakan gerusan lokal maksimum dalam kondisi setimbang.

Pengaruh kecepatan relatif pada gerusan dapat ditunjukkan pada (U/U_c) pada kedalaman gerusan tak berdimensi (y_s/b) seperti diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Kedalaman Gerusan Lokal Maksimum Rata-Rata untuk Pilar Silinder (Sumber: Chee, 1982 dalam Breusers dan Raudkivi, 1991:76)

Perlu diperhatikan bahwa :

- apabila $0.50 > U/U_c$ tidak terjadi adanya pilar gerusan lokal dan tidak terjadi transportasi sedimen pada daerah sekitar pilar,
- apabila $1,0 > U/U_c > 0.50$, penyebab utama terjadinya proses gerusan adalah *clear water scour* dan ini akan terjadi gerusan lokal di

daerah sekitar pilar namun tidak terjadi proses transportasi sedimen. Pada kondisi $U/U_c < 1,0$ maka kecepatan aliran sangat dominan dan menurut Shen (1972) dan Graff (1995) dalam Berlianadi (1998:13) : kekuatan *horseshoe vortex* dan angka Reynold pada pilar adalah :

$$y_{se} = 0.00022 \left(\frac{Ub}{v} \right)^{0.609}$$

- apabila $1,0 < U/U_c$, penyebab utama adalah *live bed scour* karena proses transportasi sedimen berlangsung terus akan tetapi tidak menimbulkan dampak sampai tergerusnya dasar di sekitar pilar berarti pada daerah tersebut terjadi kesetimbangan antara pengendapan dan erosinya.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Urutan penelitian dilakukan menjadi dua bagian utama, yaitu :

1. Penelitian secara fisik, dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang dengan pengamatan dan pencatatan fenomena yang ada di model.

Tabel 1. variasi kecepatan aliran

Q \ H	H ₁ = 0.075 m	H ₂ = 0.080 m	H ₃ = 0.085 m	H ₄ = 0.090 m
Q ₁ = 2.972 l/dt	V ₁ = 0.189 m/s	V ₂ = 0.177 m/s	V ₃ = 0.166 m/s	V ₄ = 0.157 m/s
Q ₂ = 3.358 l/dt	V ₅ = 0.213 m/s	V ₆ = 0.200 m/s	V ₇ = 0.188 m/s	V ₈ = 0.178 m/s
Q ₃ = 3.749 l/dt	V ₉ = 0.238 m/s	V ₁₀ = 0.223m/s	V ₁₁ = 0.210 m/s	V ₁₂ = 0.198 m/s
Q ₄ = 4.204 l/dt	V ₁₃ = 0.267 m/s	V ₁₄ = 0.250 m/s	V ₁₅ = 0.236 m/s	V ₁₆ = 0.222 m/s

- c. Jarak penempatan *ground sill*
Ground sill ditempatkan pada jarak 2D dari hilir pilar, dimana D adalah diameter pilar.

2. Penelitian secara hipotetik dan analitik, dilaksanakan dengan tujuan menemukan beberapa variable yang saling berpengaruh.

Penelitian fisik di laboratorium yang menyangkut tahapan studi literatur, persiapan alat, persiapan bahan, pembuatan model dan pengumpulan data dari penyajian model. Sedangkan penelitian hipotetik dan analitik berupa analisis data dan membuat kesimpulan hasil penelitian secara ringkas.

Pelaksanaan penelitian

Pada pelaksanaan penelitian direncanakan dengan menggunakan 2 (dua) model penelitian dengan 16 (enam belas) variasi kecepatan aliran yang diperoleh dari 4 (empat) variasi debit aliran dimana setiap debit terdiri atas 4 (empat) variasi kedalaman aliran. Adapun variasi penelitiannya adalah :

- a. Variasi model (M)

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) variasi model *running* yaitu :

1. Tanpa menggunakan *ground sill* (M₁)
2. Menggunakan *ground sill* (M₂)

- b. Variasi kecepatan aliran (V)

Variasi kecepatan didapat dari hasil perhitungan berdasarkan parameter-parameter aliran sebagai berikut :

Dari parameter-parameter diatas didapat beberapa macam variasi penelitian berdasarkan pengaruh kecepatan aliran yaitu :

1. Variasi penelitian pada debit Q1 tanpa perlindungan *groundsill* (M1) : M₁Q1V1; M₁Q1V2; M₁Q1V3; M₁Q1V4
2. Variasi penelitian pada debit Q2 tanpa perlindungan *groundsill* (M1) : M1Q2V5; M1Q2V6; M1Q2V7; M1Q2V8
3. Variasi penelitian pada debit Q3 tanpa perlindungan *groundsill* (M1) : M₁Q3V9; M₁Q3V10; M₁Q3V11; M₁Q3V12
4. Variasi penelitian pada debit Q4 tanpa perlindungan *groundsill* (M1) : M₁Q4V13; M₁Q4V14; M₁Q4V15; M₁Q4V16
5. Variasi penelitian pada debit Q1 dengan perlindungan *groundsill* (M2) : M₂Q1V1; M₂Q1V2; M₂Q1V3; M₂Q1V4
6. Variasi penelitian pada debit Q2 dengan perlindungan *groundsill* (M2): M₂Q2V5; M₂Q2V6; M₂Q2V7; M₂Q2V8
7. Variasi penelitian pada debit Q3 dengan perlindungan *groundsill* (M2) : M₂Q3V9; M₂Q3V10; M₂Q3V11; M₂Q3V12
8. Variasi penelitian pada debit Q4 dengan perlindungan *groundsill* (M2) : M₂Q4V13; M₂Q4V14; M₂Q4V15; M₂Q4V16

Berdasarkan variasi-variasi penelitian diatas maka keseluruhan akan dilakukan 32 kali *running*.

Adapun langkah-langkah pelaksanaan penelitian model 1 (Pilar tanpa *groundsill*) adalah sebagai berikut:

1. Model pilar silinder diletakkan di tengah *flume* dengan jarak 3,5 m dari hulu.
2. Kran pengatur debit dibuka dan diputar pada titik yang telah ditentukan, kemudian air dialirkan secara perlahan melalui kran pengalir pada kondisi pintu air tertutup hingga mencapai ketinggian tertentu.
3. Setelah air mencapai ketinggian tertentu kran pengalir ditutup kembali, kemudian

nyalakan pompa dan biarkan air pada bak tampungan terisi penuh.

4. Pintu air mulai dibuka secara perlahan bersamaan dengan dibukanya kran pengalir. Pada waktu pembukaan kran dan pintu air, pompa air juga dipastikan dalam keadaan hidup sehingga tampungan air tetap dalam kondisi penuh.
5. Pengamatan kedalaman gerusan, dilakukan melalui pengamatan setiap percobaan dengan mencatat kedalaman gerusan dari awal *running* setiap selang waktu tertentu, yaitu 10 menit pertama dicatat setiap selang waktu 1 menit, menit ke-10 hingga menit ke-50 dicatat setiap selang waktu 5 menit, menit ke-50 hingga menit ke-90 dicatat setiap selang waktu 10 menit, dan menit ke-90 hingga menit ke-180 dicatat setiap selang waktu 15 menit, sehingga keseluruhan *running* dilaksanakan selama 3 jam. Pengamatan kedalaman gerusan dicatat terus menerus selama waktu kesetimbangan.
6. Pengambilan data kontur, data kontur gerusan di sekitar pilar diukur setelah *running* selesai, dengan cara memperkecil debit aliran secara perlahan agar gerusan di sekitar pilar tidak terganggu oleh adanya perubahan debit. Hal ini dilakukan agar diperoleh data kontur yang mewakili gerusan tersebut. Data kontur diukur dengan menggunakan alat *point gauge*. Daerah gerusan yang diukur elevasinya dibagi atas beberapa bagian yaitu arah sejajar aliran dan arah melintang aliran.
7. Setelah dilakukan pengukuran tiga dimensi, pasir diolah untuk kemudian diratakan dan dipadatkan kembali dengan elevasi material dasar sesuai dengan rencana penelitian,

proses ini dilakukan setiap akan melakukan percobaan. Kemudian untuk selanjutnya dilakukan *running* dengan variasi kecepatan berikutnya pada debit yang sama. Kemudian dengan langkah kerja yang sama untuk dilakukan *running* pada kecepatan-kecepatan aliran berikutnya.

Adapun langkah-langkah pelaksanaan penelitian model 2 (pilar dengan *groundsill*) adalah sebagai berikut:

1. Model pilar silinder diletakkan di tengah *flume* dengan jarak 3,5 m dari hulu.
2. *Groundsill* diletakkan membentang pada *flume* dengan jarak (2D) dari hilir pilar.
3. Mekanisme kerja selanjutnya sama dengan model M1 dari langkah no. 2 sampai no. 7 dan dilanjutkan untuk variasi-variasi kecepatan berikutnya.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Kedalaman Gerusan

Dari hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan adanya pengaruh antara kecepatan aliran dengan kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar untuk kedua jenis model *running*, hal tersebut dapat dilihat pada tabel 2. Selain itu pengaruh tersebut juga dapat dilihat dari hasil pengujian pengaruh debit aliran dan bilangan *Froude* yang menunjukkan adanya pengaruh besar terhadap kedalaman gerusan, sedangkan debit aliran dan bilangan *Froude* serta kecepatan aliran memiliki kaitan yang erat.

Kecepatan aliran sangat berpengaruh terhadap kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar silinder sehingga dengan kecepatan aliran yang berbeda akan mengakibatkan gaya yang bekerja untuk mengangkut butiran sedimen berbeda pula.

Tabel 2. Hubungan Kecepatan Aliran Dengan Kedalaman Gerusan

No.	Model	U (m/dt)	U _c (m/dt)	U/U _c	Ds/Do
1	M1Q1V1	0.189	0.287	0.659	0.200
2	M1Q1V2	0.177	0.287	0.617	0.088
3	M1Q1V3	0.166	0.287	0.578	0.059
4	M1Q1V4	0.157	0.287	0.547	0.033
5	M1Q2V5	0.213	0.287	0.742	0.253
6	M1Q2V6	0.200	0.287	0.697	0.188
7	M1Q2V7	0.188	0.287	0.655	0.153
8	M1Q2V8	0.178	0.287	0.620	0.056
9	M1Q3V9	0.238	0.287	0.829	0.622
10	M1Q3V10	0.223	0.287	0.777	0.600
11	M1Q3V11	0.210	0.287	0.732	0.489
12	M1Q3V12	0.198	0.287	0.690	0.400
13	M1Q4V13	0.267	0.287	0.930	0.933
14	M1Q4V14	0.250	0.287	0.871	0.867
15	M1Q4V15	0.236	0.287	0.822	0.533
16	M1Q4V16	0.222	0.287	0.774	0.489
17	M2Q1V1	0.189	0.287	0.659	0.024
18	M2Q1V2	0.177	0.287	0.617	0.000
19	M2Q1V3	0.166	0.287	0.578	0.000
20	M2Q1V4	0.157	0.287	0.547	0.000
21	M2Q2V5	0.213	0.287	0.742	0.222
22	M2Q2V6	0.200	0.287	0.697	0.200
23	M2Q2V7	0.188	0.287	0.655	0.044
24	M2Q2V8	0.178	0.287	0.620	0.000
25	M2Q3V9	0.238	0.287	0.829	0.333
26	M2Q3V10	0.223	0.287	0.777	0.289
27	M2Q3V11	0.210	0.287	0.732	0.222
28	M2Q3V12	0.198	0.287	0.690	0.178
29	M2Q4V13	0.267	0.287	0.930	0.667
30	M2Q4V14	0.250	0.287	0.871	0.556
31	M2Q4V15	0.236	0.287	0.822	0.400
32	M2Q4V16	0.222	0.287	0.774	0.356

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan :

- U = Kecepatan aliran (m/dt)
- U_c = Kecepatan kritik (m/dt)
- ds = Kedalaman gerusan (m)
- b = lebar pilar (m)

Pengaruh Jarak Penempatan *Groundsill* Terhadap Kedalaman Gerusan

Pada *running* menggunakan *groundsill* kondisi dan kecepatan aliran serta lama pengamatan gerusan yang terjadi di sekitar pilar silinder sama dengan *running* tanpa menggunakan *groundsill* (M₁). Adapun titik-titik pengamatan kedalaman gerusan di sekitar pilar serta model penempatan *groundsill* dapat dilihat pada gambar 3.

Berdasarkan hasil pengamatan *running* model M2 secara keseluruhan menunjukkan

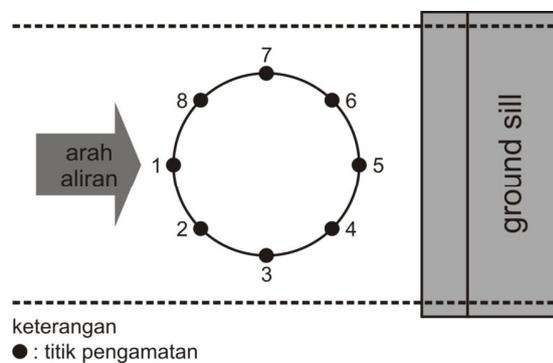
bahwa dengan ditematkannya *groundsill* pada hilir pilar silinder akan berpengaruh terhadap pola aliran dan besarnya kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar pilar

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa ditematkannya *groundsill* pada bagian hilir pilar silinder mampu mereduksi gerusan yang terjadi hingga mencapai prosentase 100% yang berarti pada kecepatan tertentu material dasar di sekitar pilar tidak mengalami proses perpindahan atau berada pada kondisi yang tetap dari awal hingga akhir waktu pengamatan. Besar angka prosentase reduksi gerusan untuk masing-masing variasi kecepatan dapat dilihat pada tabel 3. berikut ini.

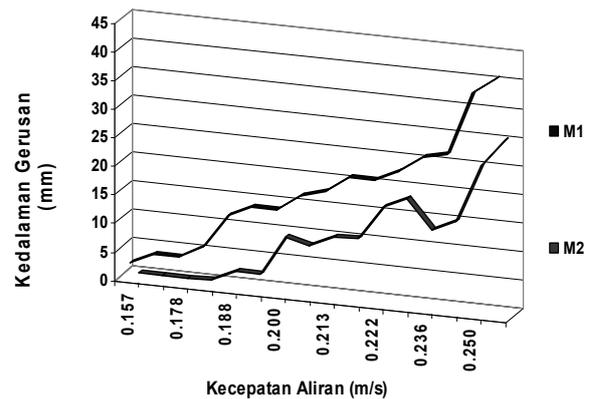
Tabel 3. Perbandingan Kedalaman Gerusan Maksimum (Ds)

Kecepatan (m/dt)	Kedalaman Gerusan (ds) (mm)		Prosentase reduksi gerusan (%)
	M1	M2	
0.157	3	0	100.00
0.166	5	0	100.00
0.178	5	0	100.00
0.177	7	0	100.00
0.188	13	2	84.62
0.189	15	2	86.67
0.200	15	9	40.00
0.198	18	8	55.56
0.213	19	10	47.37
0.210	22	10	54.55
0.222	22	16	27.27
0.223	24	18	25.00
0.236	27	13	51.85
0.238	28	15	46.43
0.250	39	25	35.90
0.267	42	30	28.57

Sumber: Hasil penelitian



Gambar 3. Posisi titik pengamatan pada pilar silinder dengan perlindungan *groundsill*



Gambar 4. Perbandingan Kedalaman Gerusan Maksimum (Ds) pada Masing-Masing Variasi Kecepatan Aliran

Berdasarkan Tabel 3. menunjukkan bahwa terjadi perbedaan kedalaman gerusan maksimum yang cukup signifikan antara *running* pada model pilar tanpa *groundsill* (M₁) dengan pilar menggunakan *groundsill* (M₂) dimana angka reduksi rata-rata dari keseluruhan *running* mencapai 61,49 %. Bahkan pada beberapa variasi kecepatan yaitu pada kecepatan V₂, V₃, V₄ dan V₈ besarnya reduksi gerusan mencapai 100 %. Hal ini dikarenakan penempatan *groundsill* pada hilir pilar menyebabkan kenaikan muka air dan menjadikan luas tampang basah saluran semakin besar sehingga jarak vertikal muka air terhadap dasar saluran akan semakin tinggi. Transpor sedimen akan semakin lemah dan terhalang oleh adanya *groundsill* sehingga dengan pengukuran kecepatan pada titik yang sama, kedalaman gerusan di sekitar pilar silinder dengan perlindungan *groundsill* akan lebih kecil dari kedalaman gerusan di sekitar pilar silinder tanpa *groundsill*. Dari hasil penelitian ini membuktikan bahwa penempatan *groundsill* sangat efektif dalam mengurangi besarnya gerusan yang terjadi di sekitar pilar silinder.

Perhitungan Empiris Kedalaman Gerusan Lokal

Data kedalaman gerusan hasil pengujian selanjutnya akan dievaluasi terhadap persamaan empiris yang digunakan oleh Froehlich, Garde dan Raju untuk model *running* tanpa perlindungan *ground sill* (M1). Adapun

$$\frac{D_s}{D_o} = 0,78 K1 K2 \left(\frac{L_A}{D_o}\right)^{0,63} Fr^{1,16} \left(\frac{D_o}{d_{50}}\right)^{0,43} \sigma^{-1,87}$$

Kedalaman Gerusan Lokal Menurut Persamaan Garde dan Raju (1977), dalam Hanwar (1999)

$$\frac{d}{d_o} = \frac{4,0}{\alpha} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \left(\frac{U}{\sqrt{g d_o}}\right)^{n^*}$$

persamaan empiris yang dimaksud adalah sebagai berikut ini.

Kedalaman Gerusan Lokal Menurut Persamaan Froehlich (1987), dalam Hanwar (1999)

Persamaan kedalaman gerusan untuk pilar silinder pada kondisi *clear water scour* menurut Froehlich (1987) sebagai berikut :

Data hasil pengujian kedalaman gerusan terhadap persamaan empiris di atas dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 7 berikut :

Tabel 6. Kedalaman Gerusan menurut Froehlich

<i>running</i>	Do	La	Fr	σ	k1	k2	d50	Ds/Do	Ds	Ds/La	Do/La
M1Q1V1	0.075	0.045	0.220	2.818	1	1	0.00051	0.120	0.009	0.201	1.667
M1Q1V2	0.080	0.045	0.200	2.818	1	1	0.00051	0.106	0.008	0.189	1.778
M1Q1V3	0.085	0.045	0.182	2.818	1	1	0.00051	0.094	0.008	0.178	1.889
M1Q1V4	0.090	0.045	0.167	2.818	1	1	0.00051	0.084	0.008	0.169	2.000
M1Q2V5	0.075	0.045	0.248	2.818	1	1	0.00051	0.138	0.010	0.231	1.667
M1Q2V6	0.080	0.045	0.226	2.818	1	1	0.00051	0.122	0.010	0.218	1.778
M1Q2V7	0.085	0.045	0.206	2.818	1	1	0.00051	0.109	0.009	0.205	1.889
M1Q2V8	0.090	0.045	0.189	2.818	1	1	0.00051	0.097	0.009	0.195	2.000
M1Q3V9	0.075	0.045	0.277	2.818	1	1	0.00051	0.157	0.012	0.262	1.667
M1Q3V10	0.080	0.045	0.252	2.818	1	1	0.00051	0.139	0.011	0.247	1.778
M1Q3V11	0.085	0.045	0.230	2.818	1	1	0.00051	0.123	0.010	0.233	1.889
M1Q3V12	0.090	0.045	0.211	2.818	1	1	0.00051	0.110	0.010	0.221	2.000
M1Q4V13	0.075	0.045	0.311	2.818	1	1	0.00051	0.180	0.013	0.300	1.667
M1Q4V14	0.080	0.045	0.282	2.818	1	1	0.00051	0.158	0.013	0.282	1.778
M1Q4V15	0.085	0.045	0.258	2.818	1	1	0.00051	0.141	0.012	0.267	1.889
M1Q4V16	0.090	0.045	0.236	2.818	1	1	0.00051	0.126	0.011	0.252	2.000

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 7. Kedalaman Gerusan menurut Garde dan Raju

<i>running</i>	Do	η_1	η_2	η_3	η_4	U	n^*	α	Fr	La	D/Do	D	Ds	Ds/Do	Do/La	Ds/La
M1Q1V1	0.075	1.097	1	1.2	1	0.189	0.850	0.786	0.220	0.045	1.853	0.139	0.064	0.853	1.667	1.421
M1Q1V2	0.080	1.097	1	1.2	1	0.177	0.850	0.786	0.200	0.045	1.705	0.136	0.056	0.705	1.778	1.253
M1Q1V3	0.085	1.097	1	1.2	1	0.166	0.850	0.786	0.182	0.045	1.573	0.134	0.049	0.573	1.889	1.083
M1Q1V4	0.090	1.097	1	1.2	1	0.157	0.850	0.786	0.167	0.045	1.464	0.132	0.042	0.464	2.000	0.929
M1Q2V5	0.075	1.097	1	1.2	1	0.213	0.850	0.786	0.248	0.045	2.051	0.154	0.079	1.051	1.667	1.752
M1Q2V6	0.080	1.097	1	1.2	1	0.200	0.850	0.786	0.226	0.045	1.891	0.151	0.071	0.891	1.778	1.585
M1Q2V7	0.085	1.097	1	1.2	1	0.188	0.850	0.786	0.206	0.045	1.749	0.149	0.064	0.749	1.889	1.415
M1Q2V8	0.090	1.097	1	1.2	1	0.178	0.850	0.786	0.189	0.045	1.629	0.147	0.057	0.629	2.000	1.259
M1Q3V9	0.075	1.097	1	1.2	1	0.238	0.850	0.786	0.277	0.045	2.254	0.169	0.094	1.254	1.667	2.090
M1Q3V10	0.080	1.097	1	1.2	1	0.223	0.850	0.786	0.252	0.045	2.075	0.166	0.086	1.075	1.778	1.911
M1Q3V11	0.085	1.097	1	1.2	1	0.210	0.850	0.786	0.230	0.045	1.921	0.163	0.078	0.921	1.889	1.740
M1Q3V12	0.090	1.097	1	1.2	1	0.198	0.850	0.786	0.211	0.045	1.784	0.161	0.071	0.784	2.000	1.568
M1Q4V13	0.075	1.097	1	1.2	1	0.267	0.850	0.786	0.311	0.045	2.485	0.186	0.111	1.485	1.667	2.475
M1Q4V14	0.080	1.097	1	1.2	1	0.250	0.850	0.786	0.282	0.045	2.286	0.183	0.103	1.286	1.778	2.287
M1Q4V15	0.085	1.097	1	1.2	1	0.236	0.850	0.786	0.258	0.045	2.122	0.180	0.095	1.122	1.889	2.119
M1Q4V16	0.090	1.097	1	1.2	1	0.222	0.850	0.786	0.236	0.045	1.966	0.177	0.087	0.966	2.000	1.932

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 8. Perbandingan Kedalaman Gerusan pada Pengujian dengan Persamaan empiris

Running	Ds/Do		
	Froehlich	Garde dan Raju	Hasil Penelitian
M1Q1V1	0.120	0.853	0.200
M1Q1V2	0.106	0.705	0.088
M1Q1V3	0.094	0.573	0.059
M1Q1V4	0.084	0.464	0.033
M1Q2V5	0.138	1.051	0.253
M1Q2V6	0.122	0.891	0.188
M1Q2V7	0.109	0.749	0.153
M1Q2V8	0.097	0.629	0.056
M1Q3V9	0.157	1.254	0.373
M1Q3V10	0.139	1.075	0.338
M1Q3V11	0.123	0.921	0.259
M1Q3V12	0.110	0.784	0.200
M1Q4V13	0.180	1.485	0.560
M1Q4V14	0.158	1.286	0.488
M1Q4V15	0.141	1.122	0.282
M1Q4V16	0.126	0.966	0.244

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 9. Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya

Peneliti	Karakteristik aliran		Jenis Pilar	Ds/b (uji lab)	Ds/b (pers empiris)
Aisyah, S (2004)	Q = 7 lt/det d ₅₀ = 0.74 mm	h = 0.085 m Gs = 2.83	Pilar Silinder dengan diameter (b) = 40 mm	1.33	-
Setyaningrum, RM (2003)	Q = 7 lt/det d ₅₀ = 0.70 mm	h = 0.10 m Gs = 2.83	Pilar Silinder dan tirai dgn diameter (b) = 80 mm	0.56	-
Yanuar, A (2005)	Q = 4.5 lt/det d ₅₀ = 0.43 mm	h = 0.065 m Gs = 2.81	Pilar Silinder dengan diameter (b) = 40 mm	0.77	-
Agustina, AS (2006)	Q = 3.54 lt/det d ₅₀ = 0.39 mm	h = 0.090 m Gs = 2.46	Pilar Silinder dengan diameter :		
			1. b = 21.95 mm	0.32	
			2. b = 26.25 mm	0.34	
			3. b = 32.95 mm	0.33	-
			4. b = 41.75 mm	0.38	
Hasil Penelitian di Laboratorium	Q = 4.204 lt/det d ₅₀ = 0.51 mm	h = 0.090 m Gs = 2.99	5. b = 47.50 mm	0.42	
			Pilar Silinder dengan diameter : (b) = 45 cm	0.25	-

Berdasarkan Tabel 9. di atas terlihat bahwa hasil perhitungan kedalaman gerusan dengan menggunakan rumus empiris dan hasil penelitian di laboratorium diperoleh perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini secara umum dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain pengaruh dari parameter-parameter yang digunakan yaitu debit aliran, kedalaman aliran, kecepatan aliran, ukuran butiran, bentuk dan ukuran pilar. Dalam hal ini, pada perhitungan dengan rumus empiris, parameter-parameter yang mempengaruhi diperoleh berdasarkan pembacaan tabel dan grafik. Sedangkan hasil penelitian di laboratorium dapat dipengaruhi

oleh banyak hal, diantaranya adalah suhu dan tekanan udara di ruang laboratorium.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil yang didapat dari penelitian gerusan pada pilar silinder dengan berbagai variasi kecepatan aliran ini adalah:

1. Pengujian Gerusan maksimum pada pilar silinder pada berbagai variasi kecepatan terjadi pada titik 2, 3, 7 dan 8 yaitu yang terletak pada sisi kanan dan kiri pilar yang dekat dengan arah datangnya aliran dan penumpukan material terjadi pada titik 5

yang terletak pada hilir pilar.

2. Kedalaman gerusan maksimum pada pilar silinder untuk model *running* (M1) terjadi pada kecepatan 0,267 m/s yaitu sebesar 42 mm sedangkan kedalaman gerusan minimum terjadi pada kecepatan 0,157 m/s yaitu sebesar 3 mm.
3. Pada kecepatan aliran yang sama, penempatan *groundsill* pada hilir pilar menyebabkan kedalaman aliran di sekitar pilar silinder lebih tinggi dari model (M1) sehingga kedalaman gerusan di sekitar pilar silinder lebih kecil dari model (M1) dengan angka reduksi rata-rata dari keseluruhan *running* pada berbagai variasi kecepatan sebesar 61,49 %.

Saran

1. Dilaksanakannya penelitian lanjutan mengenai pengaruh parameter aliran dan penempatan *groundsill* terhadap gerusan lokal disekitar pilar dengan bentuk pilar yang berbeda baik pada kondisi *clear water scour* ataupun *live bed scour*, serta perlu adanya pengembangan lebih lanjut mengenai *groundsill* yang meliputi variasi bentuk dan metode pengaplikasiannya. Sehingga dapat dijadikan pembandingan besarnya gerusan yang terjadi pada masing-masing pilar.
2. Dalam perencanaan konstruksi disarankan agar bentuk dan jarak penempatan *groundsill* dirancang dengan sebaik mungkin untuk memaksimalkan fungsi dan kemampuannya sebagai pengendali sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Y. 2004. *Pengaruh Kecepatan Aliran terhadap Kedalaman Gerusan Lokal di Hilir Bed Protection*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang : Semarang.
- Breuser. H.N.C. and Raudkivi. A.J. 1991. *Scouring*. IAHR Hydraulic Structure Design Manual. Rotterdam : AA Balkema.
- Dinas PSDA Prov. Jateng. 1996. *Hidrolika Terapan*. Semarang.
- Gunawan, H.A. 2006. *Pengaruh Lebar Pilar Segiempat terhadap Perilaku Gerusan Lokal*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang : Semarang.
- Emawan, H.P. 2006. *Mekanisme Perilaku Local Scouring Akibat Perubahan Kecepatan Aliran pada Pilar Dengan Chasing*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang : Semarang.
- Miller Jr, W. 2003. *Model For The Time Rate Of Local Sediment Scour At A Cylindrical Structure*. Disertasi. Florida. PPS Universitas Florida.
- Prasetya, S.P. 2001. *Model Pengendalian Gerusan Lokal Akibat Aliran Superkritik di Hilir Pintu Air*. Tesis. Yogyakarta: PPS UGM
- Sucipto dan Nur Qudus. 2004. *Analisis Gerusan Lokal di Hilir Bed Protection*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan . Nomer 1 Volume 6. Januari 2004. Semarang : UNNES
- Triatmodjo, B. 1993. *Hidrolika I*. Yogyakarta. Beta Offset.
- Triatmodjo, B. 1993. *Hidrolika II*. Yogyakarta. Beta Offset.