

KAJIAN EKSPERIMENTAL *LIVE BED SCOUR* DI HILIR *BED SILL* PADA SEDIMEN DASAR TIDAK SERAGAM

Junaidi ¹⁾, Wildana Latief Mahmudi ¹⁾

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Semarang, Jawa Tengah
Email: junaiditspolines@gmail.com, latifwildana@gmail.com

ABSTRAK

Proses gerusan terjadi pada kondisi *clear water scour* setelah tercapainya fase kesetimbangan (*equilibrium*) dimana dimensi lubang gerusan yang terjadi di hilir bangunan sangat bergantung pada waktu. Ada tiga tahap pembentukan lubang gerusan lokal, yaitu tahap awal yang cepat, tahap pembentukan, dan tahap akhir berupa perlambatan hingga mencapai kesetimbangan (*equilibrium*). Bentuk lubang gerusan sangat bergantung pada jarak antar *bed sill*. Ada dua bentuk lubang gerusan, yaitu bentuk *quasi-parabolic* dan *spoon*. Bentuk *quasi-parabolic* terjadi pada jarak yang pendek antar *bed sill*, sementara bentuk *spoon* terjadi pada jarak *bed sill* yang besar. Lapis *armoring* memiliki nilai diameter median (d_{50}) yang makin besar dengan makin besarnya jarak interval antar *bed sill*. Fenomena gerusan di hilir bangunan hidraulik di alam terjadi pada kondisi banjir dimana juga terangkut material / butiran-butiran sedimen dari hulu. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati perilaku gerusan di hilir *bed sill* pada kondisi adanya sedimen terangkut dari hulu bangunan (*live bed scour*) dengan material dasar saluran dari sedimen tidak seragam. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang dengan menggunakan saluran terbuka / flume yang dilengkapi dengan sirkuit hidraulik, pintu, dan alat-alat ukur lainnya. Gerusan lokal di hilir *bed sill* pada kondisi *live bed scour* diteliti dengan melakukan serangkaian percobaan dimana material sedimen dasar tidak seragam digunakan dengan gradasi yang sama dengan sedimen yang disuplai dari hulu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman gerusan maksimum y_s terbentuk secara cepat dan mencapai nilai mendekati kesetimbangan dalam waktu pendek (2 jam). Fase erosi jangka pendek secara jelas terbedakan dari fase jangka panjang berdasarkan profil pembentukan lubang gerusan terhadap waktu. Pada awal pengujian juga tampak bahwa kedalaman gerusan berkurang dengan meningkatnya debit aliran. Pengurangan kedalaman gerusan maksimum (y_s) pada kondisi *live bed scour* dibanding pada kondisi *clear water scour* dapat diukur dari loncat morfologis $a1$. Nilai-nilai non dimensi rasio $a1/\Delta.D50$ menegaskan bahwa persamaan yang digunakan dapat dipilih untuk $a1/\Delta.D50$ hingga 9.0.

Kata kunci: Gerusan, *bed sill*, *live bed scour*, *equilibrium*, flume.

PENDAHULUAN

Dimensi lubang gerusan yang terjadi di hilir bangunan sangat bergantung pada waktu. Ada tiga tahap pembentukan lubang gerusan lokal, yaitu tahap awal yang cepat, tahap pembentukan, dan tahap akhir berupa perlambatan hingga mencapai kesetimbangan (*equilibrium*). Bentuk lubang gerusan sangat bergantung pada jarak antar *bed sill*. Ada dua

bentuk lubang gerusan, yaitu bentuk *quasi - parabolic* dan *spoon* (Meftah, 2006). Bentuk *quasi - parabolic* terjadi pada jarak yang pendek antar *bed sill*, sementara bentuk *spoon* terjadi pada jarak *bed sill* yang besar. Lapis *armoring* memiliki nilai diameter median (d_{50}) yang makin besar dengan makin besarnya jarak interval antar *bed sill*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jarak interval antar *bed sill*, lapis

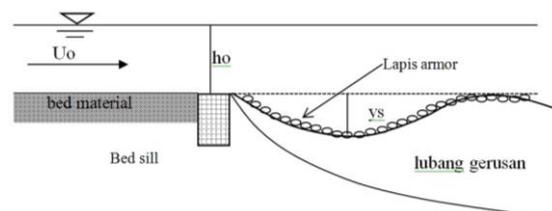
armor yang terbentuk pada fase kesetimbangan (*equilibrium*) memiliki kekasaran yang makin meningkat.

Proses - proses di atas adalah proses gerusan yang terjadi pada kondisi *clear water scour* setelah tercapainya fase kesetimbangan (*equilibrium*). Pada kenyataan di alam, fenomena gerusan terjadi pada kondisi banjir dimana juga terangkut material / butiran - butiran sedimen dari hulu. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan untuk mengamati perilaku gerusan di hilir *bed sill* pada kondisi adanya sedimen terangkut dari hulu bangunan (*live bed scour*) dengan material dasar saluran dari sedimen tidak seragam.

Penelitian tentang gerusan lokal di sekitar bangunan hidraulik telah banyak dilakukan oleh para peneliti. Borah (1989) melakukan penelitian tentang prosedur sederhana untuk menghitung kedalaman gerusan pada dasar aluvial yang memiliki material bergradasi pada kondisi aliran tertentu yang dapat menghasilkan lapisan armor pada permukaan dasar. Prosedur yang diusulkan akan berguna dalam menghitung kedalaman gerusan hilir dari struktur hidraulik dan saluran baru tanpa pelindung, dan untuk memilih material dasar saluran.

Penelitian tentang evolusi gerusan di hilir *bed sill* menggunakan aliran tanpa suplai sedimen (*clear water condition*) dan menggunakan dua sedimen seragam yang berbeda telah dilakukan oleh Gaudio et. al. (2003). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kedalaman gerusan maksimum, y_s , dan evolusi

waktu y_s lubang gerusan terbentuk secara cepat dan kondisi mendekati *equilibrium* tercapai dalam waktu yang pendek. Lenzi (2002; 2003a; 2003b) meneliti 29 struktur terjunan di sebuah sungai pegunungan di Alpin Italia dengan parameter tak berdimensi dimana kedalaman maksimum gerusan dan panjang gerusan dibagi terhadap tinggi terjunan. Ikegaya (1977) meneliti *interval bed sill* berdasarkan pada konsep kemiringan dasar stabil. Izumi (1984) membahas fungsi kontrol dasar berdasarkan percobaan laboratorium dengan variasi *interval bed sill*, tinggi, debit aliran, dan komposisi material dasar. Dia menemukan tinggi efektif *bed sill* yang lebih baik dan kenaikan jumlah konstruksi mengurangi sedimentasi. Kimura, Takahashi and Hisao (1990) menurunkan rumus teoritis *interval bed sill* dengan asumsi sebuah potongan saluran segi empat pada saluran berkelok. Chang (1980) memverifikasi bahwa *bed sill* dapat menaikkan kekasaran dasar saluran, menurunkan kecepatan rerata aliran, dan mengurangi daya geser dasar saluran (maka mengurangi pergerakan sedimen).



Gambar 1. Lubang gerusan di hilir *bed sill*

Penelitian ini mengkaji dampak pembentukan lubang gerusan pada proses gerusan di hilir *bed sill* dengan adanya sedimen terangkut dari hulu bangunan pada proses gerusan (*live*

bed scour) setelah tercapainya fase kesetimbangan (*equilibrium*) pada saluran dengan dasar tidak seragam. Sketsa penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 di atas. Hal ini penting karena pada kenyataannya di alam, fenomena gerusan terjadi pada kondisi banjir dimana terangkut juga butiran-butiran sedimen dari hulu.

Gerusan Pada Dasar Sungai

Gerusan (*scouring*) merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai (dapat berupa tikungan atau bagian penyempitan aliran sungai) atau adanya bangunan air (*hydraulic structure*) seperti: jembatan, bendung, pintu air, dll. Morfologi sungai merupakan salah satu faktor yang menentukan dalam proses terjadinya gerusan, hal ini disebabkan aliran saluran terbuka mempunyai permukaan bebas (*free surface*). Kondisi aliran saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebasnya cenderung berubah sesuai waktu dan ruang, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan saluran bebas itu sendiri.

Laursen (1952) 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 yang diangkut lebih besar dari sedimen yang disuplai. Bresuers dan Raudviki (1991) mendefinisikan gerusan yang terjadi pada suatu struktur dapat dibagi berdasarkan dua kategori yaitu, tipe dari gerusan dan

gerusan dalam perbedaan kondisi angkutan.

Kedalaman Gerusan

Lenzi (2002) menawarkan persamaan untuk saluran curam sebagai berikut:

$$\frac{y_s}{H_s} = 0.4359 + 1.4525 \left(\frac{a_1}{H_s}\right)^{0.8626} + 0.0599 \left(\frac{a_1}{\Delta D_{95}}\right)^{1.4908} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana y_s adalah kedalaman maksimum gerusan, H_s adalah energi kritik spesifik, D_{95} adalah ukuran butiran dimana 95% berat sedimen adalah lebih halus, Δ adalah kerapatan terendam relatif sedimen, dan a_1 adalah lompatan morfologis sebagai

$$a_1 = (S - S_{sq})/L \dots\dots\dots (2)$$

Dimana S adalah kemiringan antara puncak *bed sill*, S_{sq} adalah kemiringan dasar pada kondisi *equilibrium*, dan L adalah *space sill*. Persamaan di atas diperoleh melalui *multiple* regresi pada data *flume gradien* rendah dan tinggi dengan rentang pengujian $0.225 < a_1/H_s < 1.872$ dan $0.161 < a_1/\Delta D_{95} < 1.150$.

Lenzi et al. (2004) melangsungkan serangkaian pengujian *bed sill* di laboratorium dan menemukan bahwa ada hubungan unik antara y_s dan l_s yang tidak terpengaruh jarak antar *sill*. Ketika panjang gerusan l_s dan kedalaman kritik aliran h_c di skala oleh spasi L, hubungan yang kuat ($R^2 = 0.92$) ditemukan antara dua set data

$$\frac{l_s}{L} = 1.1 + 0.24 \ln\left(\frac{h_c}{L}\right) \dots\dots\dots (3)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian tentang gerusan di hilir *bed sill* dilaksanakan pada kondisi aliran dengan suplai sedimen dari hulu (*live bed scour*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suplai sedimen dari hulu terhadap kedalaman dan bentuk gerusan. Pengujian dilakukan dengan kondisi suplai sedimen dari hulu bersifat tetap (*steady*) dengan komposisi ukuran butiran yang sama dengan sedimen yang ditaruh di dasar saluran. Bagian *flume* yang akan dipakai percobaan dilapisi material dasar lepas yang memiliki ukuran dari 0.15 mm hingga 6.3 mm sepanjang 3.2 m. *Bed sill* dibuat dengan papan setebal 2 mm. Bagian saluran yang akan diamati diberi *bed sill* pada *interval* berbeda berurutan 0.2 m, 0.4 m, 0.8 m, 1.6 m, dan 3.2 m. Bagian puncak *bed sill* dipakai untuk mengontrol elevasi dasar saluran.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang dengan menggunakan saluran terbuka / *flume* yang dilengkapi dengan sirkuit hidraulik, pintu, dan alat - alat ukur. Prosedur penelitian meliputi persiapan, kalibrasi alat, dan uji aliran. Kemudian dilakukan percobaan *running*. Percobaan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Bagian *flume* yang akan dipakai percobaan dilapisi material dasar lepas yang memiliki ukuran dari 0.15 mm hingga 6.3 mm sepanjang 3.2 m. *Bed sill* dibuat dengan papan setebal 2 mm.
- b. Bagian saluran yang akan diamati diberi *bed sill* pada *interval* berbeda berurutan 0.2 m, 0.4 m, 0.8 m, 1.6 m, dan 3.2 m. Bagian puncak *bed sill* dipakai untuk mengontrol elevasi dasar saluran. Sebagai pembanding, tiga jenis saluran digunakan untuk meneliti efisiensi pencegahan gerusan menggunakan *bed sill*, yaitu, tanpa *bed sill*, *bed sill* pada sebagian daerah, dan *bed sill* seluruh daerah.
- c. Dengan sedimen pada kawasan yang diamati, *flume* dialiri debit untuk proses gerusan. Sedimen hasil gerusan ditampung setiap 30 detik pada titik ujung *flume* hingga sedimen keluaran berkurang di bawah 5% dari *output* maksimumnya. Pada kondisi ini suplai air dihentikan, waktu gerusan dicatat, dan tampang memanjang dasar *flume* diamati setiap jarak 1 cm.
- d. Dengan mengubah satu variabel pengujian (kemiringan *flume*, *interval bed sill*, atau debit), percobaan *flume* diulang hingga semua kombinasi teramati.



Gambar 2. *Sediment transport flume* untuk penelitian (Laboratorium Hidraulika Politeknik Negeri Semarang, 2017)

- e. Pengambilan sampel *armoring* dilakukan pada lubang gerusan, dilakukan secara manual dengan menggunakan alat bantu cetok pada bagian permukaan dengan kedalaman tertentu sepanjang saluran, selanjutnya sampel ditaruh dalam tempat untuk ditiriskan, dioven, kemudian ditimbang dan diayak dengan berat 1000 gram untuk setiap percobaan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

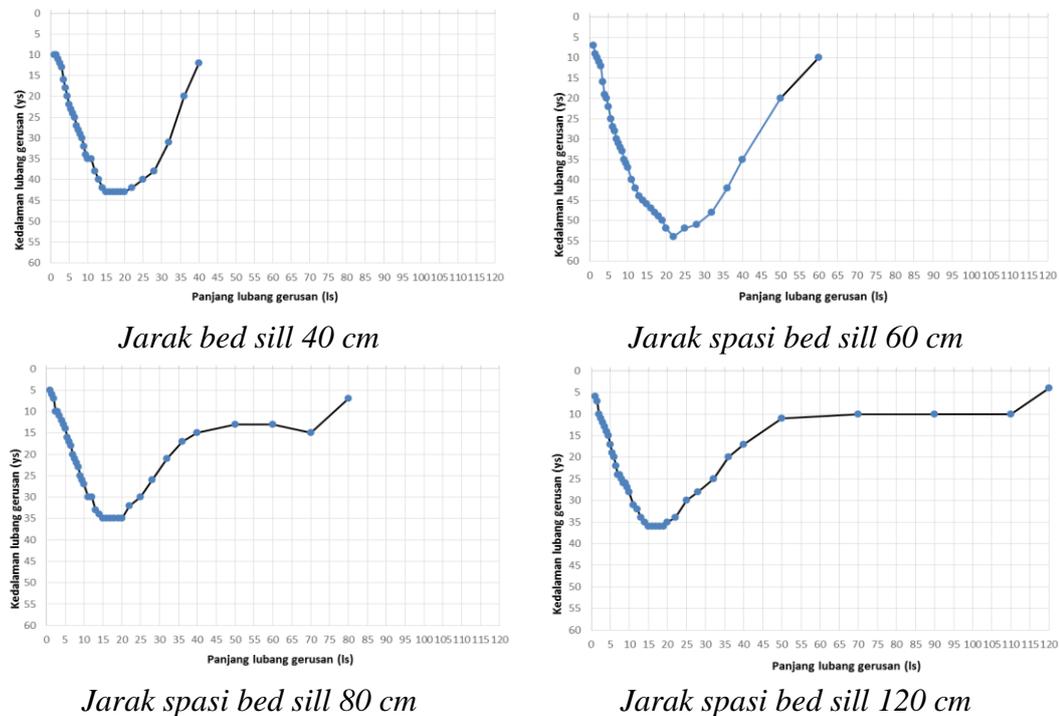
Karakteristik Gerusan

Hasil - hasil dari pengukuran terhadap gerusan di hilir *bed sill* meliputi pembentukan lubang gerusan pada berbagai *interval* jarak antar *bed sill* (40 cm, 60 cm, 80 cm, dan 120 cm) dan pembentukan lubang gerusan pada berbagai catatan waktu hingga fase akhir (10 menit, 30 menit, 60 menit, 120 menit). Profil hasil gerusan pada berbagai jarak *interval bed sill* untuk *running - running* yang dilakukan R1 sampai R6 adalah seperti pada gambar - gambar di bawah.

Berdasarkan gambar 3, tampak bahwa bentuk lubang gerusan sangat bergantung pada jarak antar *bed sill*. Tampak bahwa hasil pengujian pada

segmen dengan panjang *interval* antar *bed sill* 40 cm dan 60 cm, bentuk lubang gerusan adalah *quasi-parabolic*. Konfigurasi ini ditandai oleh sebuah lubang gerusan yang menempati seluruh ruang diantara *bed sill*. Teramati juga bahwa dimensi lubang gerusan secara khusus dipengaruhi oleh kedekatan antar *bed sill* ketika debit aliran tinggi. Lebih jauh, ketika panjang *interval* antar *bed sill* cukup besar seperti pada segmen 3, dan 4, yang memiliki *interval* 80 cm dan 120 cm, bentuk lubang gerusan membentuk profil spoon/sendok (Meftah, 2006).

Dari gambar 3 juga ditunjukkan bahwa profil gerusan untuk segmen 3 dan 4 (*interval bed sill* 80 cm dan 120 cm) sesuai dengan kondisi alam. Hasil ini bersesuaian dengan hasil penelitian Gaudio, 2003 dan Lenzi, 2003b. tetapi untuk profil lubang gerusan segmen 1 dan 2 (dengan jarak *interval bed sill* 40 cm dan 60 cm) tidak sesuai dengan kejadian alam. Hal ini disebabkan karena kuatnya pengaruh jarak antar *bed sill* pada konfigurasi ini sehingga dapat dikatakan bahwa ketika panjang lubang gerusan sebanding dengan jarak antar *bed sill*, maka *bed sill* akan terganggu oleh pembentukan gerusan.



Gambar 3. Hasil akhir kedalaman dan panjang gerusan pada uji running R1 sampai R6

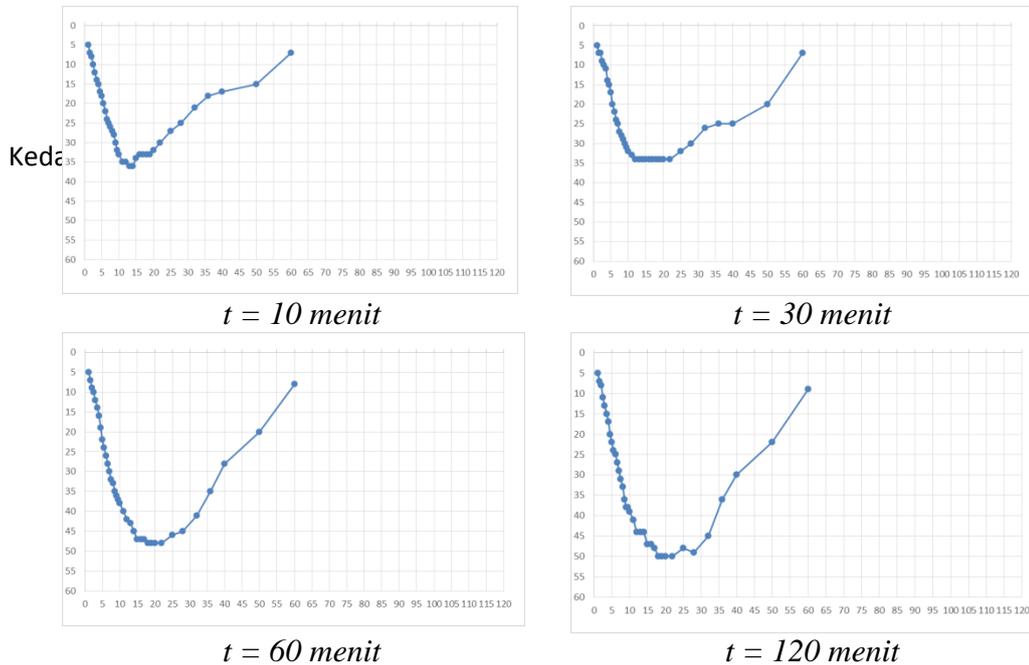
Sedangkan profil hasil gerusan pada berbagai pencatatan waktu untuk running R5 dengan *interval* 60 cm adalah seperti pada gambar 4 di bawah. Gambar 4 menunjukkan bahwa bagian paling atas dari lereng gerusan hulu selalu berada dalam kesetimbangan selama seluruh periode dari proses pembentukan lubang gerusan, sementara bagian paling bawah masih terus berkembang lubang gerusannya. Dari gambar 4 juga tampak bahwa pada awal pembentukan (menit ke 10, 30, hingga 60) gerusan berlangsung cepat, kemudian berkurang perlahan-lahan hingga mencapai kondisi kesetimbangan setelah periode yang panjang (2 jam). Besarnya kedalaman gerusan maksimum bergantung kepada tegangan geser dasar, kondisi turbulen dekat dasar, dan karakteristik sedimen (densitas material dasar,

distribusi ukuran butir sedimen, porositas, material dasar kohesive atau *non* kohesive, dll). Di sungai dengan dasar kerikil, *bed sill* digunakan untuk membatasi degradasi dasar dan untuk mengontrol erosi di pendekatan pilar jembatan atau di hilir saluran dari kolam tampung bendungan.

Berdasarkan gambar 4 juga tampak bahwa meluasnya lubang gerusan sangat bergantung kepada waktu. Meftah (2006) menjelaskan bahwa ada tiga tahap pembentukan lubang gerusan. Pada tahap awal, pembentukan lubang gerusan berlangsung cepat, hal ini disebabkan karena laju yang tinggi dari material terangkut yang mencapai hilir masing-masing *sill*. Laju yang tinggi dari material terangkut adalah akibat dari gaya tinggi dari tegangan geser dasar

yang bekerja pada material dasar di awal waktu. Tahap dua ditandai dengan peningkatan laju pembentukan gerusan yang lebih lambat daripada tahap pertama. Tahap

final ditandai dengan proses gerusan yang lambat dimana gerusan mencapai kondisi kesetimbangan setelah periode waktu yang panjang.



Panjang lubang gerusan (ls)

Gambar 4. Proses pembentukan lubang gerusan pada *interval bed sill* 60 cm.

Melihat pada pembentukan secara temporal, setelah tercapai kesetimbangan, lubang - lubang gerusan di ujung hulu flume (segmen 1) lebih dalam daripada yang di hilir. Hal itu terjadi karena pembentukan lubang gerusan di segmen hulu pertama berbeda dengan di hilir, dimana segmen pertama dari saluran ditandai dengan kondisi aliran *clear water* (tanpa muatan partikel sedimen dasar), sementara pada segmen lain yang lebih hilir, semua segmen ditandai dengan aliran masuk dan aliran keluar partikel - partikel sedimen dasar dengan tanpa erosi sedimen.

Fase kesetimbangan diasumsikan tercapai ketika tidak ada angkutan partikel sedimen yang teramati sepanjang saluran. Meftah (2006) menjelaskan bahwa selama periode waktu yang lebih panjang dari 60% dari durasi dimana tahap kesetimbangan tercapai, kedalaman gerusan meningkat hanya dengan nilai sekitar 10% dari kedalaman gerusan maksimum. Dari gambar 3 juga dapat dijelaskan bahwa untuk semua pengujian running percobaan, pengaruh waktu terhadap pembentukan lubang gerusan merupakan variabel yang sangat penting.

Pengaruh Suplai Sedimen dari Hul

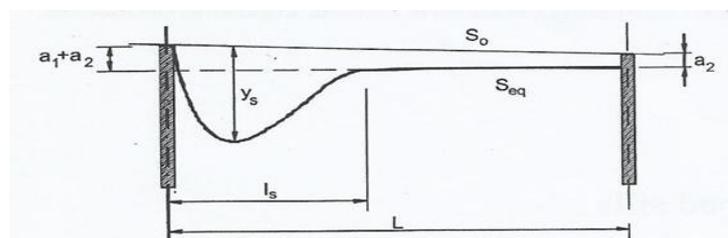
Muka air memanjang dan profil dasar yang diukur sepanjang *centerline* pada akhir setiap pengujian ditunjukkan pada grafik di gambar 5

untuk pengujian ke 6 dimana x adalah absis memanjang yang dimulai dari inlet. Sedangkan tabel 1 menunjukkan besaran - besaran terhitung dan parameter tak berdimensi dari hasil gerusan.

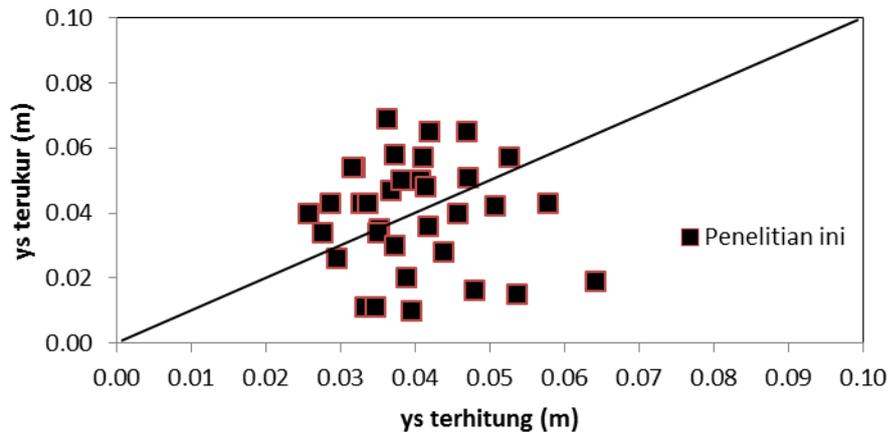
Tabel 1. Besaran - besaran terhitung dan parameter tak berdimensi\

a1	a1/Hs	a1/ΔD95	a1/Δ.D50	ys/Hs	ys1 (m)	ys2 (m)
0.0016	0.0332	0.2391	1.653	0.8088	0.0330	0.0257
0.0025	0.0499	0.3586	2.480	0.6875	0.0403	0.0276
0.0033	0.0665	0.4782	3.306	0.5257	0.0477	0.0295
0.0049	0.0997	0.7172	4.960	0.2224	0.0624	0.0332
0.0029	0.0583	0.4194	2.900	0.8695	0.0441	0.0286
0.0043	0.0875	0.6292	4.350	1.0919	0.0570	0.0318
0.0058	0.1166	0.8389	5.801	0.7077	0.0699	0.0351
0.0087	0.1749	1.2583	8.701	0.7279	0.0957	0.0417
0.0042	0.0842	0.6056	4.188	1.0919	0.0555	0.0315
0.0062	0.1263	0.9084	6.281	1.3952	0.0742	0.0362
0.0083	0.1684	1.2112	8.375	1.1526	0.0928	0.0409
0.0125	0.2526	1.8168	12.563	0.8493	0.1301	0.0507
0.0017	0.0283	0.2466	1.705	6.6767	0.0405	0.0306
0.0025	0.0424	0.3699	2.558	0.7178	0.0497	0.0326
0.0034	0.0566	0.4932	3.410	0.1836	0.0589	0.0347
0.0051	0.0849	0.7398	5.115	0.3338	0.0773	0.0388
0.0029	0.0490	0.4269	2.952	0.7178	0.0539	0.0336
0.0044	0.0735	0.6404	4.428	0.9681	0.0699	0.0371
0.0059	0.0980	0.8539	5.904	0.8346	0.0858	0.0407
0.0088	0.1470	1.2808	8.857	0.2671	0.1176	0.0480
0.0042	0.0704	0.6131	4.240	0.7845	0.0678	0.0367
0.0063	0.1055	0.9197	6.359	1.0850	0.0907	0.0418
0.0084	0.1407	1.2262	8.479	0.8513	0.1135	0.0470
0.0126	0.2111	1.8394	12.719	0.7178	0.1593	0.0578

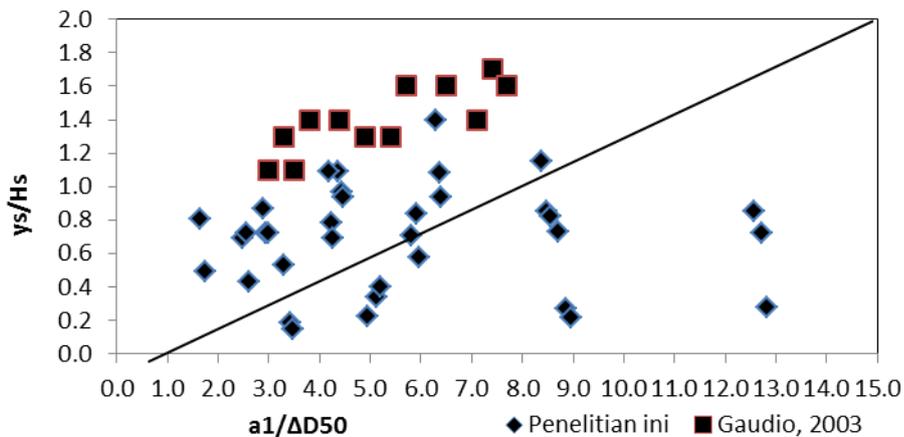
(Sumber: Olah data penelitian)



Gambar 5. Sketsa definisi gerusan di *bed sill* (dari Gaudio et al., 2000)



Gambar 6. Hubungan antara kedalaman gerusan y_s terukur dan terhitung



Gambar 7. Hubungan antara kedalaman gerusan *relative* dan loncat *sill step relative*

Pada bagian hulu, kedalaman aliran normal, h_u , ditentukan sebagai jarak antara dasar mendekati sejajar dan profil muka air. Kedalaman gerusan maksimum, y_s , panjang gerusan, l_s , dan *sill step*, a_1 , yang terjadi di hulu *sill* ke dua, juga diperoleh dari profil dasar. Panjang gerusan ditentukan sebagai jarak antara *sill* pertama dan titik di hilir lubang gerusan dimana kemiringan nampak mencapai nilai konstan. Hasil-hasilnya dapat dilihat pada tabel 1. Perbandingan antara nilai-nilai terukur dan terhitung untuk

kedalaman aliran, *sill step*, dan rasio *non* dimensi y_s/H_s ditunjukkan pada gambar 7. Kesesuaian antara kedalaman aliran terukur dan terhitung cukup baik (gambar 6), meskipun nilainya secara umum di bawah persamaan 1, hal ini kemungkinan disebabkan karena ketidakpastian nilai koefisien kekasaran *Manning* dan parameter mobilitas *Shields* kritis. Nilai - nilai *non* dimensi rasio $a_1/\Delta.D50$ pada gambar 7 menegaskan bahwa nilai $a_1/\Delta.D50$ dapat diterima hingga nilai 9,0.

KESIMPULAN

Gerusan lokal di hilir *bed sill* pada kondisi *live bed scour* telah diteliti dengan melakukan serangkaian percobaan dengan menggunakan *flume* yang ada di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Polines. Pasir tidak seragam digunakan dan ada penambahan sedimen di hulu *flume* dengan gradasi yang sama dengan sedimen yang ada di dasar *flume*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman gerusan maksimum y_s berbeda dengan kondisi *clear water scour*. Hasil penelitian terhadap kedalaman gerusan maksimum menunjukkan bahwa lubang gerusan terbentuk secara cepat dan mencapai nilai mendekati kesetimbangan dalam waktu pendek (2 jam). Fase erosi jangka pendek secara jelas berbeda dengan fase jangka panjang. Pada awal pengujian tampak bahwa kedalaman gerusan berkurang dengan meningkatnya debit aliran. Pengurangan kedalaman gerusan maksimum (y_s) pada kondisi *live bed scour* dibanding pada kondisi *clear water scour* cukup berarti. Pengaruh suplai sedimen dari hulu terhadap pembentukan gerusan lokal dapat diukur dari loncat morfologis a_1 . Nilai-nilai non dimensi rasio $a_1/\Delta.D50$ menegaskan bahwa persamaan yang digunakan dapat dipilih untuk $a_1/\Delta.D50$ hingga nilai 9,0.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada P3M Politeknik Negeri Semarang yang telah memberikan dana penelitian melalui hibah Penelitian

Terapan Kompetitif (PNBP) Nomor : 3912/PL4.7.4.2/LT/2017. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa dan staf laboratorium hidraulika Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang yang telah membantu pelaksanaan pengujian di laboratorium sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Borah, D.K., 1989, *Scour-Depth Prediction Under Armoring Conditions*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 115, No. 10, October, 1989, pp1421-1425
- Breusers, H. N. C., and Raudkivi, A. J. , 1991, *Scouring, Hydraulic Structures Design Manual*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Chang, H. H., 1980, *Geometry of Gravel Streams*, Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 106, No. HY9, pp. 1443–1457.
- Gaudio, R., and Marion, A., 2003, *Time Evolution of Scouring Downstream of Bed sills*, J. Hydraul. Res., 41, 3, 271–284
- Ikegaya H. 1977, *Field Planning of Sabo Construction Work*, Sankaido Publish (in Japanese).
- Izumi I., 1984, *Scouring Prevention Efficiency Of Ground-Sills*, New Sabo No.59, pp. 24 28 (in Japanese).

- Kimura K., Takahashi M., and Hisao N., 1990, *Research Among Ground-Sill Setup Interval, New Sabo*, Vol. 43, No. 2, pp. 20-24 (in Japanese).
- Laursen E. M., 1952, *Observations on the Nature of Scour*, Proc. of the Fifth Hydraulics Conference, State University of Iowa, Iowa City, Iowa, pp. 179-197.
- Lenzi M. A., Marion A., and Comiti F., 2003a, *Interference Processes on Scouring at Bed sills*, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 28, pp. 99-110.
- Lenzi M. A., Marion A., and Comiti F., 2003b, *Local Scouring at Grade-Control Structures in Alluvial Mountain Rivers*, *Water Resources Research*, Vol. 39, No. 7, pp. 1176.
- Lenzi M. A., Comiti F., and Marion A., 2004, *Local Scouring at Bed sills in a Mountain River: Plima River, Italian Alps*, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 130, No. 3, pp. 267-269.
- Lenzi, M., 2002, *Stream Bed Stabilization Using Boulder Check Dams That Mimic Step-Pool Morphology Features in Northern Italy*, *Geomorphology*, Vol. 45, pp. 243-260.
- Meftah, M.B., and Mossa, M., 2006, *Scour Holes Downstream of Bed sills in Low-Gradient Channels*, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 44, No. 4 (2006), pp. 497-509.