

KAJIAN PROTEKSI GERUSAN DI HILIR KOLAM OLAKAN BENDUNG TIPE USBR-II

Jaji Abdurrosyid, Gurawan Jati Wibowo

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

E-mail : jarrosyid@yahoo.com atau jaji_abdurrosyid@ums.ac.id

ABSTRACT

In the downstream of a weir, especially in stilling basin, there is a phenomenon called hydraulic jump caused by flow change from supercritical flow to sub critical flow. The hydraulic jump in weir stilling basin causes bed scour, particularly in the downstream of weir that is not protected. Therefore, laboratory study of scour and its countermeasure in the downstream of weir is required.

This study was conducted at Hydraulic Laboratory of Surakarta River Research Centre using recirculation flume. The recirculation flume dimensions were : length = 24 m; width = 49 cm; and height = 60 cm. The bed material of recirculation flume was fine sand (diameter of sieve = 2 mm) with 20 cm thickness layered along the flume. The slope of flume was 0.004, and it was assumed that there was no sediment load in the upstream of weir. This study used weir model USBR-II. The model was placed about ± 9 m from the upstream. The experiment was conducted using 4 discharge variation running and 3 protection variation running.

The result shows that the maximum scour depends on flow velocity, shear velocity, and flow height in the downstream of stilling basin. In addition, it is also affected by Reynold number and gravitation (as Froude number). These parameters are interdependent significantly. Furthermore, there is significant scour reduction in the downstream of stilling basin which is protected using either $\frac{1}{4} L_{maks}$ rip-rap, $\frac{1}{2} L_{maks}$ rip-rap, and L_{maks} rip-rap. In addition, protection using L_{maks} length rip-rap can protect scour with smallest scour depth. However, scour is still happened in the downstream of stilling basin although there is protection along L_{maks} .

Keywords : *hydraulic jump, scour depth, scour protection, rip-rap*

PENDAHULUAN

Akibat pembendungan menimbulkan naiknya tinggi muka air yang mengakibatkan adanya perbedaan tinggi energi (*head*) antara hulu dengan hilir bendung, apabila air dari hulu melintas bendung akan mempunyai energi yang besar sehingga kecepatan aliran yang melintas akan menjadi semakin besar. Oleh karena itu aliran yang mengalir pada permukaan bendung yang miring dalam keadaan superkritis sedangkan kondisi aliran di bagian hilir yang landai adalah subkritis. Perubahan aliran dari superkritis ke subkritis menyebabkan terjadinya loncatan hidraulik (Raju, 1986). Akibat loncatan hidraulik ini sering menimbulkan gulungan ombak atau pusaran yang bisa menyebabkan gerusan pada dasar saluran, terutama bagian hilir yang tidak diberi perlindungan.

Dengan peristiwa loncatan air di hilir bendung, dapat mengurangi energi aliran. Dengan adanya loncatan air maka diperlukan kolam olakan yang dapat melindungi dasar sungai. Beberapa model kolam olakan telah diperkenalkan oleh *United States Bureau Of Reclamation* (USBR) yang telah teruji konstruksinya, sehingga memudahkan dalam penelitian. Tipe USBR ini terdiri dari tipe USBR-I dengan angka Froude $< 2,5$, USBR-II dengan angka Froude > 3 , USBR-III dengan angka Froude $> 4,5$, dan USBR-IV dengan angka Froude antara 2,5-4,5 (Mays, 1999). Walaupun menggunakan kolam olakan

tipe USBR yang dapat meredam energi, akan tetapi kenyataannya masih terjadi gerusan pada dasar saluran di sebelah hilir kolam olakan (Abdurrosyid, 2005), hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan tersebut. Oleh karena itu perlu adanya kajian laboratorium mengenai gerusan dan penanggulangannya/perlindungannya di sebelah hilir kolam olakan. Penelitian ini akan mengkaji tentang gerusan di sebelah hilir kolam olakan bendung tipe USBR dan penanggulangannya dengan menggunakan matras/bronjong batu (*riprap*) yang diikat dengan anyaman kawat. Penggunaan bronjong ini merupakan yang paling murah dan praktis bila diterapkan di lapangan, sehingga dijadikan model proteksi dalam penelitian ini. Secara rinci, tujuan khusus penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar ukuran panjang yang optimal dari bangunan proteksi yang dipasang di hilir kolam olakan, untuk mengetahui pola gerusan yang terjadi di hilir kolam olakan tanpa proteksi dan dengan proteksi, dan untuk menentukan fungsi variabel yang berpengaruh terhadap gerusan lokal di hilir kolam olakan tipe USBR-II.

Ada beberapa penelitian serupa yang pernah dilaksanakan tentang fenomena gerusan di bagian hilir kolam olakan bendung, akan tetapi sampai saat ini studi tentang proteksi gerusan di hilir kolam olakan bendung masih belum banyak diteliti. Seperti halnya beberapa ilmuwan yang pernah meneliti tentang proses gerusan di hilir bendung disebutkan

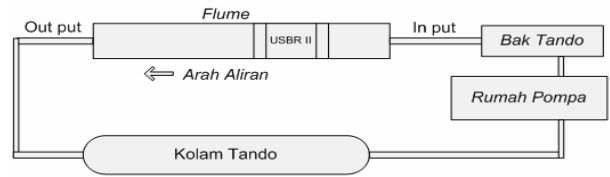
dalam Breusers dan Raudkivi (1991) antara lain : Schoklitsch (1932), Eggenberger (1944), Muller (1944), Ghetti dan Zanovello (1954), Li (1955), Hartung (1957), Shalash (1959), Breusers (1966), Raudkivi (1967), Kotoulas (1967), Dietz (1969), Catakli et al (1973). Sedangkan dalam Hoffmans dan Verhejj (1997), disebutkan antara lain : Mosonyi dan Schoppmann (1968), Van der Meulen dan Vinje (1975), Popova (1981), Buchko (1986), Blazejemski (1991). Semua penelitian tersebut belum mengkaji tentang proteksi gerusan di hilir kolam olakan (*stilling basin*), penelitian tersebut hanya sebatas mengamati kedalaman gerusan di hilir bendung, bentuk geometri lubang gerusan, pengaruh kolam olakan terhadap reduksi gerusan. USBR (1955, dalam Chow 1985) meneliti tentang pengaruh kolam olakan (*stilling basin*) terhadap peredaman energi yang bisa mereduksi gerusan, Novak (1955, dalam Breusers dan Raudkivi, 1991) melaporkan hasil pengamatannya tentang penggunaan kolam olakan yang panjangnya mencukupi loncatan hidraulik dapat mereduksi gerusan sebesar 45% sampai 65% bila dibandingkan tanpa menggunakan kolam olakan. Kumar dkk (1982) meneliti gerusan di hilir bendung. Farhoudi dan Smith (1982) meneliti tentang skala waktu (*time scale*) gerusan di hilir loncatan hidraulik. Farhoudi dan Smith (1985) meneliti tentang profil gerusan lokal (*local scour*) di hilir loncatan hidraulik. Mohammed dan McCorquodale (1992) meneliti tentang gerusan di hilir apron dari pintu air. Hoffmans dan Pilarczyk (1995) meneliti tentang gerusan lokal di hilir bangunan hidraulik yang diberi apron atau lapisan lindung pada daerah loncatan hidraulik. Peterka (1964, dalam Mays 1999) meneliti tentang ukuran batu dalam *riprap* kasar buatan yang berbentuk kutil (*wart*). Abdurrosyid (2005) meneliti tentang gerusan di hilir kolam olakan tipe USBR-III tanpa meneliti tentang proteksi gerusannya. Pada penelitian ini adalah kajian proteksi gerusan di hilir kolam olakan bendung tipe USBR-II yaitu dengan memasang *riprap* atau matras bronjong batu yang dianyam dengan kawat di bagian hilir kolam olakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Balai Sungai PUSLITBANG Sumber Daya Air Surakarta, dengan menggunakan *sediment-recirculating flume* yang berukuran lebar 0,48 m dan panjang saluran 20 m, dengan posisi model bendung USBR diletakkan pada jarak as sejauh ± 9 m dari hulu (bak tando) seperti yang nampak pada Gambar 1.

Model bendung dengan mercu tipe bulat dan kolam olakan tipe USBR-II, dengan dimensi sesuai

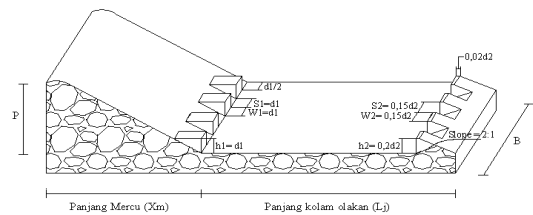
dengan Gambar 2. Sedangkan model proteksi berupa *rip-rap* dengan anyaman kawat seperti pada Gambar 3.



Gambar 1. Recirculating flume

Model USBR-II:

$$L_j = 57,10 \text{ cm} \quad P = 20,0 \text{ cm} \quad X_m = 27,65 \text{ cm} \quad B = 48,0 \text{ cm}$$



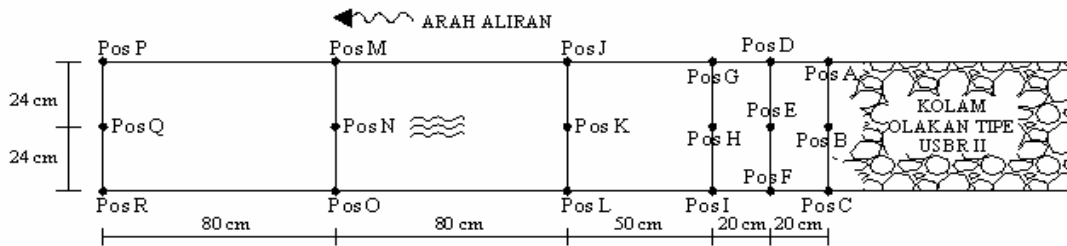
Gambar 2. Bendung dan kolam olakan tipe USBR-II



Gambar 3. Rip-rap anyaman kawat

Penelitian ini dilakukan sebanyak 17 *running* dengan dua tahap pengukuran, tahap pertama 8 *running* dan tahap kedua 9 *running*, yaitu **tahap pertama** adalah *Running* untuk mengetahui variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kedalaman gerusan (seperti kecepatan aliran, kecepatan gesek, kedalaman aliran, kedalaman gerusan, angka Froude dan angka Reynold), ini dilakukan tanpa menggunakan proteksi gerusan sebanyak 4 variasi debit yaitu 10,9 lt/dt, 20,6 lt/dt, 26,7 lt/dt, 28,8 lt/dt; **tahap kedua** adalah *Running* pengendalian/proteksi terhadap gerusan dengan debit terbesar (28,8 lt/dt) dengan variasi penelitian meliputi: pengukuran kedalaman gerusan terhadap bronjong / *Riprap* dari susunan batu yang dianyam dengan kawat dibagian hilir sejauh $\frac{1}{4} L_{maks}$, $\frac{1}{2} L_{maks}$, dan L_{maks} .

Adapun pengukuran kedalaman gerusan dilakukan pada 18 posisi pengamatan seperti yang nampak pada Gambar 4.

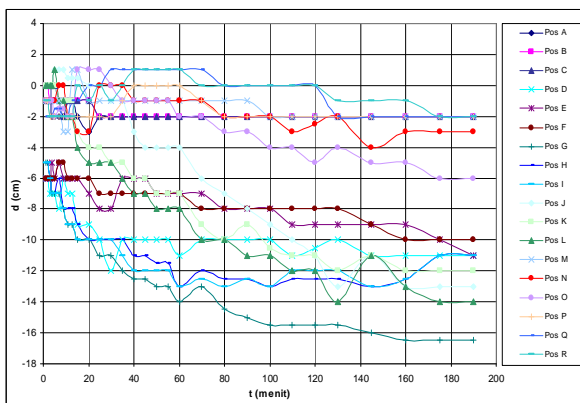


Gambar 4. Titik-Titik Pengamatan Gerusan Pada Flume

HASIL DAN PEMBAHASAN

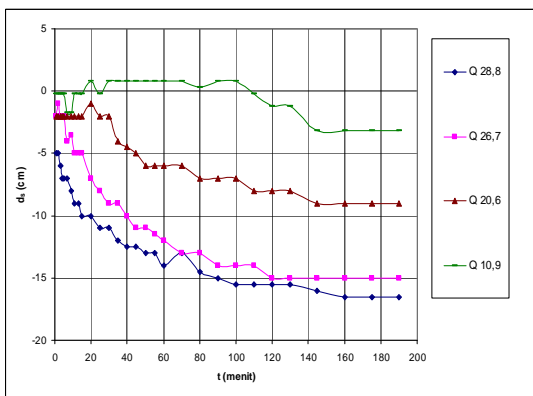
Kajian Gerusan di Hilir Kolam Olakan Tanpa Proteksi Untuk Tipe USBR-II

Pengukuran kedalaman gerusan di hilir kolam olakan dilakukan pada 18 posisi pengamatan. Pada pengukuran tersebut, kedalaman gerusan maksimum terjadi pada posisi G, seperti yang ditunjukkan pada Gamb 5.



Gambar 5. Grafik kedalaman gerusan terhadap waktu pada 18 posisi pengamatan dalam kondisi *live-bed scour* untuk $Q = 28,8$ lt/dt, tipe USBR-II

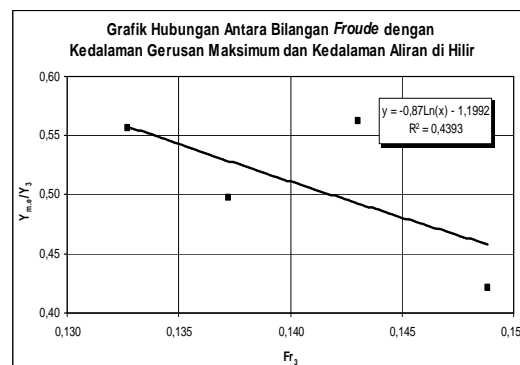
Kedalaman gerusan paling maksimum yang terjadi pada posisi titik G. Hal ini berlaku untuk 4 variasi debit sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik kedalaman gerusan maksimum pada posisi G dalam kondisi *live-bed scour* untuk masing-masing debit, tipe USBR-II

Hubungan antara perbandingan kedalaman gerusan maksimum dan kedalaman aliran dengan angka *Froude* ditunjukkan pada Gambar 7. Hubungan antara kedua parameter tersebut mempunyai angka korelasi $R = 0,6628$. Hal ini menunjukkan tingkat hubungan antara kedua parameter tersebut erat. Sedangkan nilai korelasi mempunyai nilai negatif menunjukkan hubungan tersebut berlawanan arah, artinya jika salah satu parameter bertambah maka parameter lainnya menurun, demikian juga sebaliknya. Hubungan tersebut dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut.

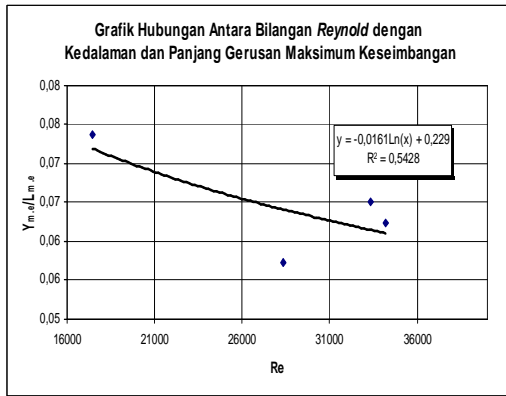
$$\left(\frac{Y_{m.e}}{Y_3'} \right) = -1,1992 - 0,870 \ln F_r \tag{1}$$



Gambar 7. Grafik hubungan antara kedalaman gerusan maksimum dan kedalaman aliran dengan angka *Froude* (F_r) tipe USBR-II

Adapun Hubungan antara perbandingan kedalaman gerusan maksimum dan panjang gerusan maksimum dengan angka *Reynold* ditunjukkan pada Gambar 8. Hubungan antara kedua parameter tersebut mempunyai angka korelasi $R = 0,7367$ hal ini masih menunjukkan hubungan erat, hubungan tersebut dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut.

$$\left(\frac{Y_{m.e}}{L_{m.e}} \right) = 0,229 - 0,0161 \ln R_e \tag{2}$$



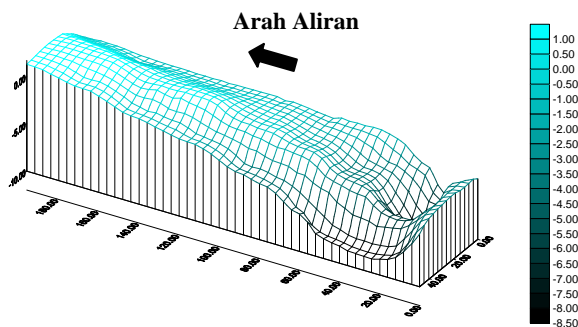
Gambar 8. Grafik hubungan antara kedalaman gerusan maksimum dan panjang gerusan maksimum dengan angka Reynold (Re) tipe USBR-II

Kajian Gerusan di Hilir Kolam Olakan Dengan Proteksi Untuk Tipe USBR-II

a. Proteksi *Rip-rap* seperempat panjang gerusan maksimum

Panjang gerusan maksimum untuk debit 28,8 lt/dt adalah 245 cm dan kedalaman gerusan 16,5 cm. Untuk penelitian proteksi gerusan pertama menggunakan $\frac{1}{4} L_{maks}$, dilakukan *running* sebanyak tiga kali dengan debit yang sama yaitu 28.8 lt/dt dan pengamatan selama 120 menit karena telah terlihat perubahan kedalaman gerusan kecil dan mendekati kestabilan.

Hasil akhir *running* menunjukkan terlihat adanya gerusan disekitar hilir *riprap* yaitu dengan kedalaman gerusan rata-rata sebesar 8,5 cm dan panjang gerusan sebesar 170,1 cm. Bentuk gerusan dilihat dalam gambar kontur tiga dimensi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



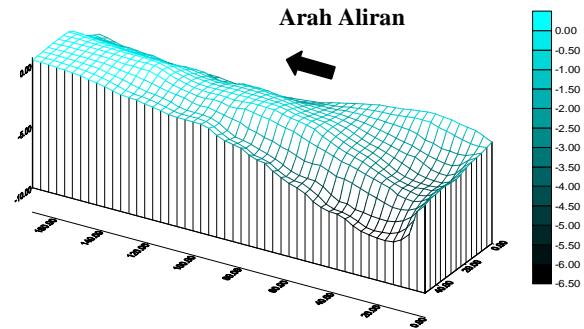
Gambar 9. Kontur tiga dimensi permukaan gerusan di hilir proteksi *riprap* seperempat panjang gerusan maksimum pada kondisi *live-bed scour* untuk $Q = 28,8$ lt/dt , tipe USBR-II

b. Proteksi *Rip-rap* setengah panjang gerusan maksimum

Pada penelitian ini menggunakan proteksi $\frac{1}{2} L_{maks}$ dari panjang gerusan maksimum dari debit 28,8 lt/dt, dilakukan *running* sebanyak tiga kali dengan

debit yang sama yaitu 28.8 lt/dt dan pengamatan selama 120 menit karena telah terlihat perubahan kedalaman gerusan kecil dan mendekati kestabilan.

Hasil akhir *running* menunjukkan terlihat masih adanya gerusan di sekitar hilir *riprap* yaitu dengan kedalaman gerusan rata-rata sedalam 6,1 cm dan panjang gerusan sebesar 140,2 cm. Bentuk gerusan bisa dilihat dalam gambar kontur tiga dimensi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.

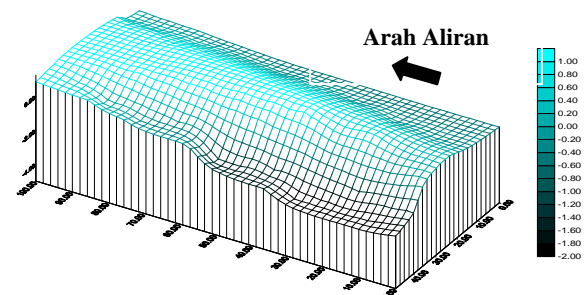


Gambar 10. Kontur tiga dimensi permukaan gerusan di hilir proteksi *riprap* setengah panjang gerusan maksimum pada kondisi *live-bed scour* untuk $Q = 28,8$ lt/dt, tipe USBR-II

c. Proteksi *Rip-rap* sepanjang gerusan maksimum

Pada penelitian ini menggunakan proteksi dengan panjang proteksi sama dengan panjang gerusan maksimum (L_{maks}) tanpa adanya proteksi dengan debit 28,8 lt/dt yaitu 245 cm, dilakukan *running* sebanyak tiga kali dengan debit yang sama yaitu 28.8 lt/dt dan pengamatan selama 120 menit, karena telah terlihat perubahan kedalaman gerusan kecil dan mendekati kestabilan.

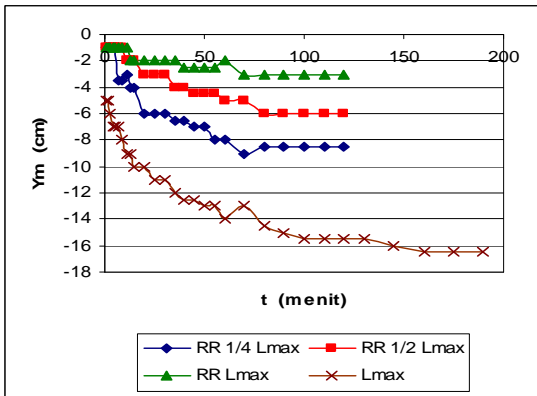
Hasil akhir *running* menunjukkan terlihat adanya gerusan kecil di sekitar hilir proteksi yaitu dengan kedalaman gerusan rata-rata sedalam 3,1 cm dan panjang gerusan rata-rata sebesar 75,2 cm. Bentuk gerusan bisa dilihat dalam gambar kontur tiga dimensi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Kontur tiga dimensi permukaan gerusan di hilir proteksi *Rip-rap* dengan panjang gerusan maksimum pada kondisi *live-bed scour* untuk $Q = 28,8$ lt/dt, tipe USBR-II

Dari penelitian proteksi *rip-rap* dengan panjang gerusan maksimum terlihat masih ada gerusan meskipun kecil di hilir proteksi.

Perbandingan antara kedalaman gerusan maksimum keseimbangan proteksi *rip-rap* dengan sebelum ada proteksi dengan waktu dapat dilihat pada grafik Gambar 12.



Gambar 12. Grafik kedalaman gerusan maksimum sebelum ada proteksi dan dengan proteksi dalam kondisi *live-bed scour* untuk $Q = 28,8$ lt/dt, tipe USBR-II

Dari gambar di atas terlihat bahwa kedalaman gerusan yang diproteksi jauh lebih dangkal bila dibandingkan dengan tanpa proteksi, hal ini menandakan adanya reduksi gerusan. Adapun nilai reduksinya untuk masing-masing variasi *rip-rap* dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 1. Nilai reduksi gerusan tipe USBR-II

Notasi	Non Proteksi Lm	RR 1/4 Lm	RR 1/2 Lm	RR Lm
Ym	16,5	8,5	6,1	3,1
Lm	cm	cm	cm	cm
Red	245,0	170,1	140,2	75,2
Ym	cm	cm	cm	cm
Red		48,48	63,03	81,21
Lm		%	%	%
		30,57	42,78	69,31
		%	%	%

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Aliran *live-bed* terjadi pada kondisi kecepatan aliran (U_0) lebih besar dari kecepatan kritisnya (U_c), hal ini ditandai dengan adanya pergerakan butiran sedimen sehingga aliran tampak keruh.

Sedangkan kedalaman aliran di atas h_c adalah aliran *clear-water* yang berupa aliran air jernih dan belum ada pergerakan sedimen.

2. Dari kajian kedalaman gerusan di hilir kolam olakan tanpa proteksi terdapat hubungan antara lain :
 - a). Hubungan yang erat antara kedalaman gerusan maksimum dan kedalaman aliran di hilir kolam olakan dengan angka *Froude*, dimana semakin kecil angka *Froude*, kedalaman gerusan maksimum berbanding kedalaman aliran semakin besar.
 - b). Hubungan yang erat antara kedalaman gerusan dan panjang gerusan maksimum dengan angka *Reynold*, dimana semakin besar angka *Reynold*, kedalaman gerusan maksimum berbanding panjang gerusan maksimum semakin besar.
3. Berdasarkan pengamatan proteksi gerusan di hilir kolam olakan untuk tipe USBR-II pada debit 28,8 lt/dt, dapat disimpulkan :

Untuk kolam olakan tipe **USBR-II**, dengan adanya proteksi gerusan terjadi reduksi gerusan untuk *Rip-rap* $1/4 L_{maks}$ yaitu : 48,48 % untuk kedalaman gerusan dan 30,57 % untuk panjang gerusan. *Rip-rap* $1/2 L_{maks}$ yaitu : 63,03 % untuk kedalaman gerusan dan 42,78 % untuk panjang gerusan. *Rip-rap* L_{maks} yaitu : 81,21 % untuk kedalaman gerusan dan 69,31 % untuk panjang gerusan.
4. Berdasarkan pengamatan dari beberapa proteksi/pengendalian gerusan di hilir kolam olakan dengan *rip-rap* ($1/2 L_{maks}$), *rip-rap* ($1/4 L_{maks}$), *rip-rap* (L_{maks}), didapatkan kesimpulan bahwa susunan *rip-rap* sepanjang L_{maks} (panjang gerusan maksimum tanpa proteksi) mampu mengendalikan gerusan dengan kedalaman gerusan paling kecil. Akan tetapi kalau ditinjau dari proses gerusannya, bahwa lubang gerusan sepanjang L_{maks} meskipun ditutup dengan proteksi penuh tetapi masih terjadi gerusan dan lubang gerusan di hilirnya meskipun kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas seluruh pembiayaan penelitian ini yang merupakan bagian dari Research Grant Program Hibah Technological and Professional Skills Development Sector Project (TPSDP), Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta untuk Tahun Anggaran 2006 Batch III di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid, Jaji, 2005, *Gerusan di Hilir Kolam Olak Bendung*, Jurnal Dinamika Teknik Sipil, Volume 5, Nomor 2, Hal 73-79, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J., 1991, *Scouring*, IHAR Hydraulic Structure Design Manual, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Chow, V.T., 1985, (ed. Suyatman, dkk.), *Hidraulika Saluran Terbuka*, Pen. Erlangga, Jakarta.
- Farhoudi, J. dan Smith, K.V.H., 1982, *Time Scale For Scour Downstream of Hydraulic Jump*, Journal of the Hydraulics Division, Vol. 108, No. HY 10, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 1147-1162.
- Farhoudi, J. dan Smith, K.V.H., 1985, *Local Scour Profiles Downstream of Hydraulic Jump*, Journal of the Hydraulics Research, Vol. 23, No. 4, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 343-358
- Hoffmans, G.J.C.M. and Verheij, 1997, *Scour Manual*, A.A. Balkema, Rotterdam.
- Hoffmans, G.J.C.M. and Pilarczyk, K.W., 1995, *Local Scour Downstream of Hydraulic Structures*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol 121, No. 4, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 326-340.
- Kumar, D., et al.,1982, *Flow Under Weir On Scoured Bed*, Journal of the Hydraulics Division , Vol 108, No. HY 4, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 529-543.
- Mays, L.W.,1999, *Hydraulic Design Handbook*, McGraw-Hill, New York, USA.
- Mohamed, M.S. dan McCorquodale, J.A., 1992, *Short Term Local Scour*, Journal of Hydraulic Research, Vol 30, No. 5, Am. Soc. Civ. Engrs., pp. 685-699
- Raju, Ranga K.G., 1986, (ed. Yan Piter Pangaribuan), *Aliran Melalui Saluran Terbuka*, Pen. Erlangga, Jakarta.