

GERUSAN DI SEKITAR ABUTMEN DAN PENGENDALIANNYA PADA KONDISI ADA ANGKUTAN SEDIMEN UNTUK SALURAN BERBENTUK MAJEMUK

(Scour Around Abutment and Its Countermeasure In Live Bed Scour Condition on Compound Channel)

Jaji Abdurrosyid¹⁾ dan Achmad Karim Fatchan²⁾

¹⁾ Staf pengajar jurusan Teknik Sipil - Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani No. 1 Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta 57102.
e-mail : jarrosyid@yahoo.com

²⁾ Staf pengajar jurusan Teknik Sipil - Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani No. 1 Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta 57102.

ABSTRACT

Scour is erosion due to water flow on the alluvial channel bed and channel wall. In fact, scour happened in the bridge abutment is total scour, that is a combination between local scour, general scour, and constriction scour. This research aim is to find the impact of screen and pile to scour process and the depth of scour near abutment on live-bed scour condition. This research was carried out using recirculation flume. The channel model was a compound channel and using steady-uniform flow. The abutment model were Spillthrough type (ST) and Wing-Wall (WW) type. Screen and pile variation were used as scour control model. The depth of scour near abutment was measured in each 6 hours running, The research result shows that live-bed scour condition is the most critic condition, and the depth of scour on this condition is maximum. The depth of scour is mostly affected by Reynold and Froude number of channel flow. The screen which was placed on the upstream of abutment at optimum distance 1,75 Lb from abutment ace gave highest reduction of scour depth compared with other distances. In the case of 1-piled screen placed on channel bank at 1,75 L, it gave the best scour reduction, i.e. 26,68% on live-bed scour condition. In general, the scour pattern happened around abutment is the same, either using protection or without protection. It can be seen on the scour contour pattern. The scour contour pattern in this research shows similar pattern witch shaped a half horseshoe with wide up at the side of abutment perpendicular to the stream and lengthen up at downstream with the shallower scour depth.

Keywords : *depth of scour, live-bed scour, scour pattern, screen, sacrificial piles.*

PENDAHULUAN

Gerusan adalah merupakan erosi pada dasar dan tebing saluran alluvial (Hoffmans and Verheij, 1997). Gerusan merupakan proses semakin dalamnya dasar sungai karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai. Proses penggerusan akan terjadi secara alami, baik karena pengaruh morfologi sungai seperti tikungan sungai atau penyempitan aliran sungai, atau pengaruh bangunan hidraulika yang menghalangi aliran seperti abutmen jembatan. (Legono, 1990).

Gerusan yang terjadi pada abutmen maupun pilar jembatan adalah merupakan gerusan total (*total scour*), yaitu kombinasi antara gerusan lokal (*local scour*) dan gerusan umum (*general scour*). Bisa juga kombinasi antara gerusan lokal, gerusan umum dan gerusan terlokalisir atau penyempitan (*localized scour / constriction scour*). Gerusan lokal yang terjadi disekitar abutmen jembatan ataupun pilar disebabkan oleh sistem pusaran air (*vortex system*)

karena adanya gangguan pola aliran akibat rintangan, dan gerusan terlokalisir terjadi karena adanya penyempitan penampang sungai oleh adanya penempatan bangunan hidraulika (Yulistiyanto dkk., 1998). Sedangkan gerusan umum yang terjadi melintang sungai di sepanjang saluran yang menyebabkan degradasi dasar disebabkan oleh energi dari aliran air, (Raudkivi dan Ettema, 1983).

Proses gerusan ini bisa menyebabkan erosi dan degradasi disekitar bukaan jalan air (*water way opening*) suatu jembatan. Degradasi ini berlangsung secara terus menerus hingga dicapai keseimbangan antara suplai dan angkutan sedimen yang saling memperbaiki. Apabila suplai sedimen dari hulu berkurang atau jumlah angkutan sedimen lebih besar daripada suplai sedimen, maka bisa menyebabkan terjadinya kesenjangan yang begitu menyolok antara degradasi dan agradasi di lokasi dasar jalan air jembatan. Sehingga lubang gerusan (*scour hole*) pada abutmen maupun pilar jembatan akan lebih dalam bila tidak terdapat atau kurangnya suplai

sedimen. Demikian juga apabila tidak terdapat bangunan pengendali gerusan di sekitar abutmen ataupun pilar, maka dalamnya gerusan tidak bisa direduksi, sehingga kedalaman gerusan bisa mencapai maksimum. Hal ini bisa menyebabkan rusaknya abutmen maupun pilar jembatan. Untuk itu, maka perlu adanya kajian laboratorium mengenai gerusan total yang terjadi di sekitar abutmen jembatan pada saluran majemuk seperti keadaan sungai di lapangan dan pengendaliannya. Untuk mengendalikan terjadinya gerusan ini, maka dipasang tirai (*screen*) atau tiang-tiang kecil (*sacrificial piles*) di hulu abutmen pas di kaki bantaran. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penempatan tirai (*screen*) atau tiang-tiang kecil (*sacrificial piles*) terhadap proses gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar abutmen, pada kondisi adanya angkutan sedimen (*live-bed scour*) untuk saluran dengan penampang berbentuk majemuk (*compound channel*).

Saluran majemuk adalah saluran yang mempunyai penampang berbentuk variatif, tidak persegi (*rectangular channel*) dan tidak prismatis. Saluran ini bisa merupakan kombinasi dua persegi yang berbeda luas tampangnya, bisa juga berbentuk saluran alami (Melville, 1995).

Pada umumnya kebanyakan metode pencegahan atau pengendalian gerusan dengan menggunakan *riprap*, yaitu menempatkan batuan pada dasar sungai di sekitar pilar atau abutmen, seperti yang direkomendasikan Bonasoundas (1973, dalam Breuser dan Raudkivi, 1991). Chiew (1992) meneliti tentang proteksi gerusan disekitar pilar jembatan pada kondisi *clear-water scour* dengan menggunakan *riprap*, *slot* dan *collar/caissons*, yang diuji sendiri-sendiri. Proteksi gerusan menggunakan *collar* pada dasar mengelilingi pilar silinder dengan diameter sisi luar sebesar dua kali diameter pilar (2D), menunjukkan reduksi 20%. Melville dan Hadfield (1999), meneliti tentang proteksi gerusan pada pilar jembatan dengan menggunakan tiang-tiang kecil (*sacrificial piles*) sebagai pengendali, tiang-tiang kecil berjumlah 3 dan 5 yang disusun dalam bentuk segitiga di hulu pilar, bentuk pilar yang diteliti adalah silinder dan persegi (*rectangular*). Penelitian ini dilakukan pada kondisi *clear-water* dan *live-bed*. Hasil penelitian bahwa untuk pilar silinder pada kondisi *clear-water* dapat mereduksi gerusan sebesar 48%, Sedangkan pada kondisi *live-bed* untuk pilar silinder dapat mereduksi sebesar 17,5%, dan untuk pilar persegi dapat mereduksi sebesar 26,5%. Rinaldi (2002), meneliti tentang proteksi gerusan pada abutmen tipe *semi circular end* (SCE) dengan kondisi *clear-water scour*. Proteksi gerusan menggunakan pelat, posisi

pelat yang optimal adalah pelat yang berada di dasar saluran dan kemiringan 120° terhadap vertikal, posisi tersebut mampu mereduksi kedalaman gerusan sebesar 24,75%. Jaji (2004) melakukan penelitian tentang pengendalian gerusan pada model abutmen tipe *sphill-through* dengan menggunakan plat, tirai dan *groundsill* sebagai pelindung pada kondisi *live-bed scour* untuk saluran prismatis berbentuk segi empat. Hasil penelitian menunjukkan proteksi dengan tirai pada jarak 4 L_b untuk saluran prismatis mampu mereduksi sebesar 49,71 %. Melville (1995), meneliti tentang kedalaman gerusan di sekitar abutment jembatan pada saluran majemuk (*compound channel*) dengan menggunakan tipe *wing-wall* abutment. Penelitian dilakukan dengan membandingkan antara saluran persegi (*rectangular channel*) dengan saluran majemuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedalaman gerusan pada saluran majemuk lebih kecil bila dibandingkan pada saluran persegi.

Menurut Breusers dan Raudkivi (1991), kedalaman gerusan tergantung dari beberapa variabel, yaitu karakteristik fluida, material dasar, aliran dalam saluran dan bentuk pilar atau abutmen jembatan yang dapat ditulis :

$$d_s = f(\rho, v, g, d, \rho_s, h_0, U), \quad (1)$$

dengan ρ = rapat massa fluida, v = kekentalan kinematik fluida, g = percepatan gravitasi, d = diameter butiran sediment, ρ_s = rapat massa sedimen, h_0 = kedalaman aliran, U = kecepatan aliran rata-rata, L_b = lebar abutmen. Jika persamaan tersebut dibuat tidak berdimensi, maka persamaan menjadi :

$$\frac{d_s}{L_b} = f\left(\frac{UL_b}{g}, \frac{U^2}{gL_b}, \frac{h_0}{L_b}, \frac{d}{L_b}\right), \quad (2)$$

dengan Δ = rapat massa relatif dari butiran terendam, $\Delta = \frac{\rho_s}{\rho}$, dengan d_s = kedalaman gerusan.

CARA PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Balai Penyelidikan Sungai Surakarta dengan menggunakan *sediment-recirculating flume* dengan posisi model abutmen diletakkan pada jarak as sejauh 14,18 m dari *tail gate* di hilir *flume*, seperti yang terlihat pada Gambar 1, dan Gambar 2 (lihat lampiran). Model abutmen adalah tipe *Spilltrough* (ST) dan *Wing-Wall* (WW) seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Tipe ST maupun WW mempunyai dimensi yang sama yaitu lebar abutment,

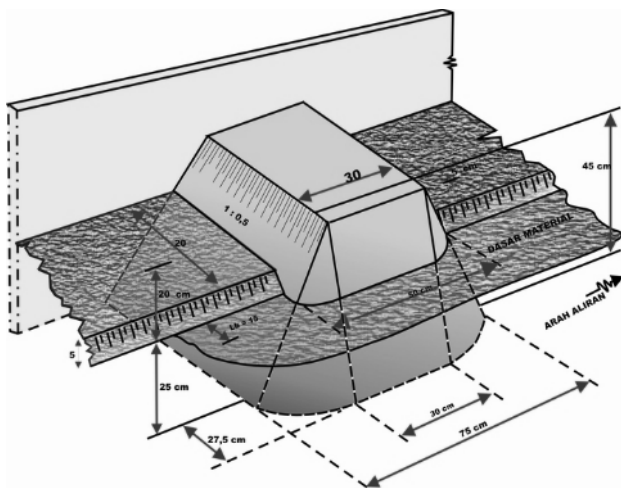
$L_b = 40$ cm, panjang, $L = 50$ cm dan tinggi $H = 45$ cm.



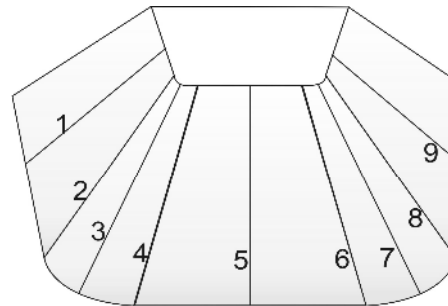
Gambar 1. Foto saluran flume berbentuk majemuk dengan abutmen

Model pengendalian gerusan berupa variasi tirai dan tiang yang dipasang di hulu abutmen. Dalam penelitian ini diambil rentang aspect ratio $B/h_0 > 5$ (Kironoto dan Graf, 1995). Sebelum *running* pengendalian/proteksi kedalaman gerusan di sekitar abutmen, dilakukan terlebih dahulu pengamatan kedalaman gerusan tanpa proteksi pada kondisi *live-bed scour*. Pengamatan pengendalian kedalaman gerusan di sekitar abutmen juga dilakukan pada kondisi *live-bed scour*. Pengukuran dilakukan selama 360 menit untuk 1 *running*, dengan posisi pengamatan terdiri dari 9 titik pengamatan untuk tipe ST dan 8 titik pengamatan untuk tipe WW, hal ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6, dimana pada gambar tersebut nampak titik-titik pengamatan ditunjukkan dengan garis-garis pita yang vertikal dengan nomor urut dari kiri ke kanan.

Penelitian ini dilakukan sebanyak 29 *running* dengan 2 model, yaitu untuk model *spilltrough abutment* sebanyak 27 *running* dan model *wing-wall abutment* sebanyak 2 *running*.

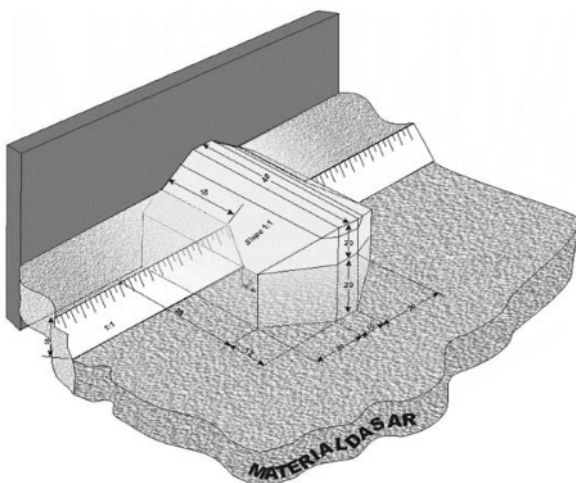


Gambar 3. Model abutmen tipe *spilltrough*



Gb. Posisi Titik Pengamatan Kedalaman Gerusan pada Abutmen

Gambar 5. Posisi titik-titik pengamatan pada tipe *spilltrough*



Gambar 4. Model abutment tipe *Wing-Wall*

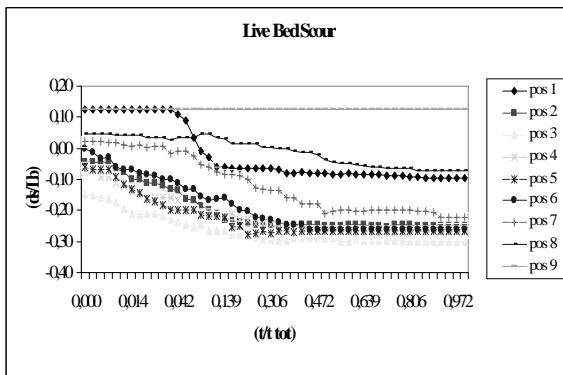


Gambar 6. Posisi titik-titik pengamatan pada tipe *wing-wall*

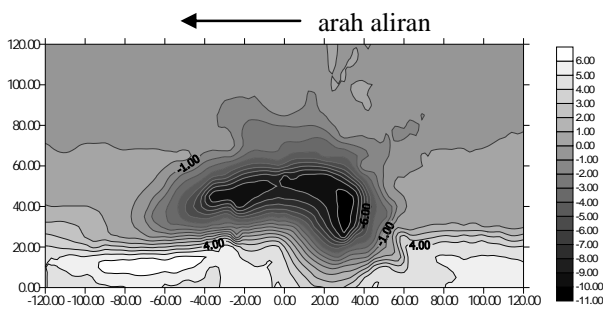
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gerusan Pada Tipe *Spilltrough* dengan *Live Bed Scour* Tanpa Proteksi

Kedalaman gerusan yang terjadi pada kondisi *live-bed scour* untuk abutmen tipe *spilltrough* tanpa menggunakan proteksi tirai adalah merupakan kedalaman gerusan yang terdalam dibandingkan dengan *clear-water scour* untuk tipe abutmen yang sama. Pengukuran kedalaman gerusan pada kondisi *live-bed scour* dilakukan selama 360 menit. Pada pengukuran tersebut, khususnya untuk *live-bed scour* kedalaman gerusan maksimum terjadi pada posisi di **titik 3**, sedangkan pada posisi **titik 9** terjadi agradasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, adapun data pengukuran dapat dilihat pada Tabel Impiran-1. Sedangkan kontur 2D diperlihatkan pada Gambar 8 dan kontur 3D diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 7. Hubungan (t/t_{total}) dengan (d_s/L_b) Kondisi *Live-Bed Scour* Pada Sembilan Posisi Titik Pengamatan

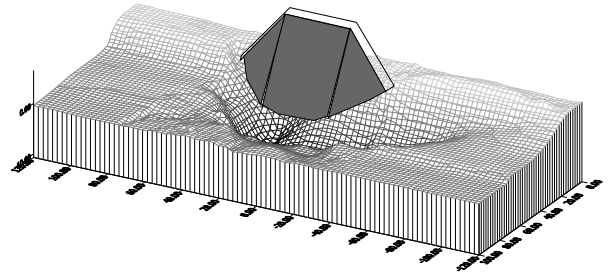


Gambar 8. Kontur Permukaan Gerusan Tanpa Proteksi Pada kondisi *Live-Bed Scour* untuk $Q = 30$ lt/ detik

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8 ternyata gerusan terjadi dimulai pada ujung abutmen sebelah hulu, kemudian berkembang sepanjang sisi abutmen ke arah hilir. Gerusan terus berlangsung hingga membentuk lubang gerusan (*scour hole*) yang dalamnya cenderung mengalami pendangkalan ke arah hilir. Sedangkan di bagian hilir lubang gerusan terutama dibagian pinggir, terjadi pengendapan

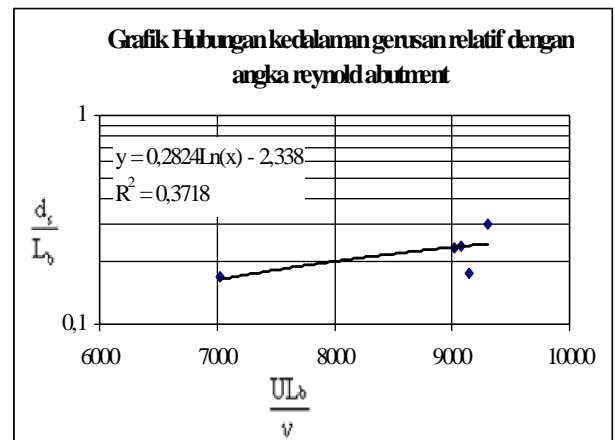
sedimen (*deposition*). Pengendapan ini berkembang terus hingga akhirnya tererosi kembali ke bagian hilir, akhirnya terkumpul serta endapan bertambah di bagian hilir dan semakin panjang seiring dengan bertambahnya waktu.

Adapun gambar kontur gerusan 3D tanpa proteksi pada tipe *spilltrough* diperlihatkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Gambar Tiga Dimensi Kontur *Live Bed Scour* untuk $Q = 30$ lt/detik

Berdasarkan kajian fungsi Breusers dan Raudkivi (1991), dari data *running* dapat diperoleh grafik hubungan kedalaman gerusan relatif terhadap angka Reynold seperti pada Gambar 10 berikut.



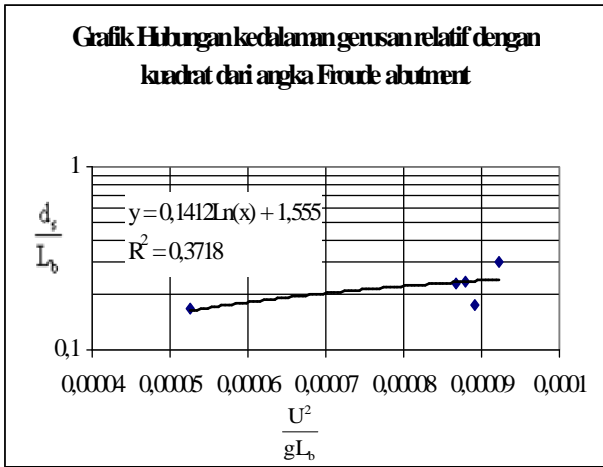
Gambar 10. Hubungan kedalaman gerusan relative dengan angka Reynold pada kondisi *Live Bed- Scour*

Pada Gambar 10 diatas terlihat adanya pengaruh kecepatan dan lebar abutmen terhadap kedalaman gerusan yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\frac{d_s}{L_b} = 0.6503 \log \left(\frac{UL_b}{v} \right) - 0.2338 \quad (3)$$

Berdasarkan grafik (Gambar 10) dan persamaan (3) tersebut disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan aliran dan semakin lebar panjang abutmen akan semakin besar kedalaman gerusannya.

Adapun grafik hubungan kedalaman gerusan relatif terhadap angka *Froud* diperlihatkan dalam Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Hubungan kedalaman gerusan relative dengan kuadrat dari angka Froude pada *Live Bed- Scour*

Gambar 11 diatas terlihat adanya pengaruh kecepatan dan lebar abutmen terhadap kedalaman gerusan yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\frac{d_s}{L_b} = 0.351 \log \left(\frac{U^2}{g L_b} \right) + 1.555 \quad (4)$$

Berdasarkan persamaan (3) dan (4) di atas, maka kedalaman gerusan pada kondisi *live-bed scour* mempunyai kriteria yaitu sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kekentalan aliran, lebar dasar abutmen dan gravitasi aliran.

Berdasarkan data yang diperoleh dalam penelitian dan dari persamaan Breusers dan Raudkivi (1991) dapat dibuat persamaan non dimensional dengan persamaan *least square*, sehingga didapat persamaan yang lebih lengkap, yaitu :

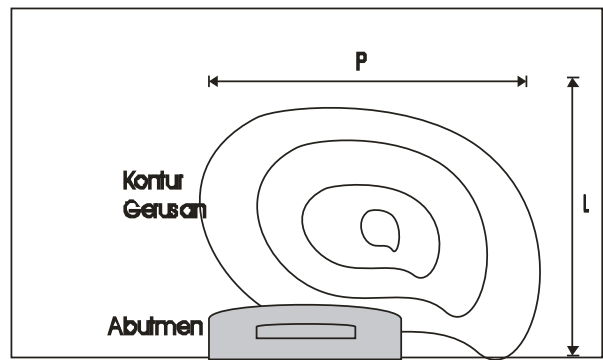
$$\frac{d_s}{L_b} = 1,13 - 1,76.10^{-5} \left[\frac{U.L_b}{g} \right] + 54,6 \left[\frac{U^2}{g.L_b} \right] + 1,54 \left[\frac{h_o}{L_b} \right] \dots\dots\dots(5)$$

Dari persamaan (5) terlihat bahwa kedalaman gerusan relative dipengaruhi oleh angka *Reynold* abutmen, angka *Froude* abutmen, dan kedalaman relatif aliran. Kedalaman gerusan pada kondisi *live-bed scour* sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kekentalan aliran, lebar dasar abutmen, gravitasi aliran dan kedalaman aliran.

Mengenai kajian lubang gerusan (*scour-hole*), gerusan terjadi dimulai pada ujung abutmen sebelah hulu, kemudian berkembang sepanjang sisi abutmen sampai bagian hilir. Gerusan terus berlangsung

hingga membentuk lubang gerusan (*scour hole*) yang dalamnya cenderung mengalami pendangkalan ke bagian hilir. Sedangkan di bagian hilir lubang gerusan terutama dibagian pinggir, terjadi pengendapan sedimen (*deposition*) sementara, pengendapan ini berkembang terus hingga akhirnya tererosi kembali kebagian lebih hilir, akhirnya terkumpul serta endapan bertambah di bagian hilir lubang gerusan dan semakin panjang seiring dengan bertambahnya waktu. Lubang gerusan tersebut membentuk setengah sepatu tapal kuda seperti yang terlihat pada Gambar 12.

Adapun data hasil pengukuran lebar lubang gerusan (L) dan panjang lubang gerusan (P) serta hubungannya dapat dilihat pada Tabel Lampiran-2.



Gambar 12. Sketsa Lubang Gerusan

Berdasarkan data tersebut dapat diperoleh persamaan hubungan antara kecepatan relatif aliran (U/U_*) terhadap lebar relatif lubang gerusan (L/d_s) pada kontur kedalaman gerusan di sekitar abutmen jembatan yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\frac{U}{U_*} = 21.315 - 4.145 \log \left(\frac{L}{d_s} \right) \quad (6)$$

Demikian juga hubungan antara kecepatan relatif aliran (U/U_*) terhadap panjang relatif lubang gerusan (P/d_s) pada kontur kedalaman gerusan di sekitar abutmen jembatan dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\frac{U}{U_*} = 24.369 - 5.88 \log \left(\frac{P}{d_s} \right) \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan (6) dan (7), terlihat bahwa terdapat hubungan yang erat antara kecepatan aliran dengan besarnya lebar maupun panjang lubang gerusan disekitar abutmen jembatan pada kondisi *live-bed scour*.

Gerusan Pada Tipe *Spilltrough-abutment* dengan Menggunakan Proteksi Tirai Pada Kondisi *Live Bed Scour*

Menentukan Jarak Optimum ($L_{optimum}$)

Langkah awal penelitian proteksi tirai terhadap kedalaman gerusan pada kondisi *live-bed scour* adalah mencari jarak optimum yaitu seberapa jauh jarak tirai terhadap as abutmen sehingga menghasilkan reduksi kedalaman gerusan yang maksimum atau paling bagus.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan proteksi tirai 7 susun tiang-tiang dengan jarak antara tiang 3 kali diameter tiang tirai ($7-3d$). Pengamatan kedalaman gerusan seimbang dilakukan selama 360 menit dengan variasi jarak L (jarak antara as tirai sampai as abutmen) terdiri dari : $1,25 L_b$, $1,5 L_b$, $1,75 L_b$, dan $2 L_b$. Mengenai posisi tirai maupun tiang diletakkan di hulu abutmen dengan sisi pinggir/awal pas kaki bantaran seperti yang nampak pada Gambar 13.



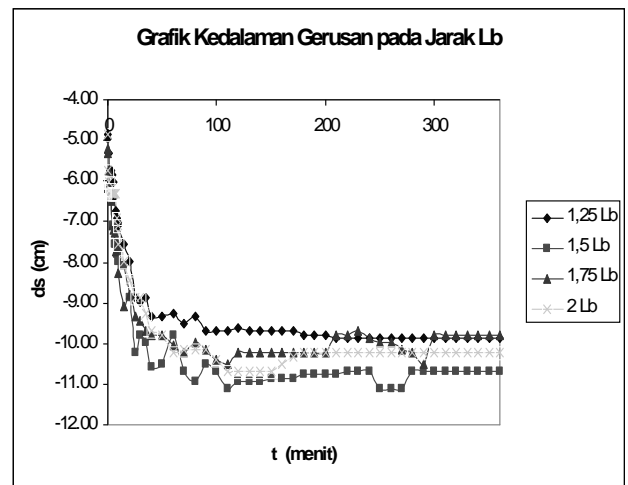
Gambar 13. Posisi tirai di hulu abutmen dengan sisi pinggir pas kaki bantaran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa $1,75 L_b$ adalah merupakan jarak yang optimum, hal ini bisa dilihat dari data pengukuran pada Tabel 1 berikut, juga pada Gambar 14.

Tabel 1. Nilai Reduksi Gerusan Untuk Masing-masing Jarak L_b Tertentu dengan Tirai $7 - 3d$

No	Posisi Tirai	ds LBS (cm)	ds (cm)	Nilai Reduksi
1	2	3	4	5
1	$1,25 L_b$	12,11	9,87	18,49 %
2	$1,50 L_b$	12,11	10,68	11,81 %
3	$1,75 L_b$	12,11	9,78	19,24 %
4	$2,00 L_b$	12,11	10,23	15,52 %

Hasil pengukuran pada posisi titik terdalam untuk masing-masing variasi jarak tirai, pada akhir keseimbangan terlihat bahwa jarak tirai $1,75 L_b$ adalah merupakan jarak yang optimum, hal ini dapat dilihat pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Perbandingan Kedalaman Gerusan pada Jarak L_b tertentu

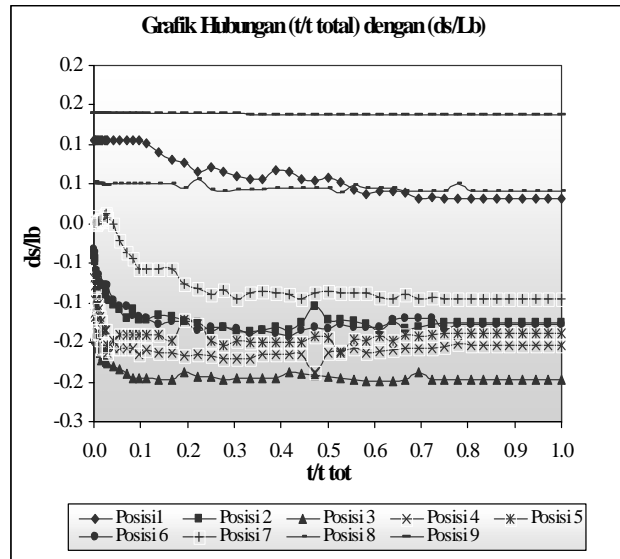
Menentukan Kedalaman Gerusan Minimum

Penelitian ini dimaksudkan untuk mencari kedalaman gerusan yang minimum pada keadaan telah mencapai keseimbangan, d_s . Penelitian dilakukan pada debit yang sama 30 l/det pada L_{opt} dengan menggunakan variasi jumlah tirai dan jarak antar tirai yang meliputi 7 running . Hasil running ditunjukkan pada Tabel 2.

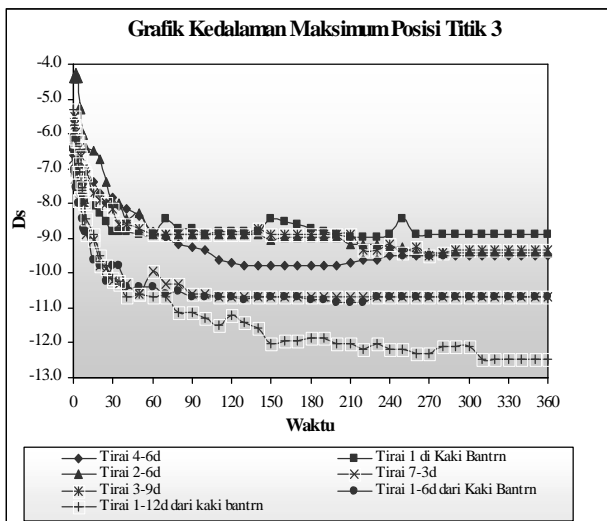
Menurut Tabel 2 terlihat bahwa nomor running 2 yaitu proteksi tirai dengan 1 tiang yang dipasang pas kaki bantaran (Tirai 1 – kaki bantaran) mempunyai d_s minimum, yaitu sebesar $8,89 \text{ cm}$ dan nilai reduksi terbesar $26,58 \%$. Adapun grafik hasil gerusan untuk 7 running pada Tabel 2 dapat dilihat pada Gambar 15.

Tabel 2. Nilai Reduksi Gerusan Untuk Masing- masing Variasi Tirai

No Run	Posisi Tirai	ds LBS (cm)	ds (cm)	Nilai Reduksi
1	2	3	4	5
1	Tirai 4 – 6d	12,11	9,51	21.40 %
2	Tirai 1 - kaki bantaran	12,11	8,89	26.58 %
3	Tirai 2 – 6d	12,11	9,43	22.07 %
4	Tirai 7 – 3d rata air	12,11	10,68	11.74 %
5	Tirai 3 – 9d	12,11	9,34	22.81 %
6	Tirai 1 – 6d Kaki bantaran	12,11	10,68	11.74 %
7	Tirai 1 – 12d Kaki bantaran	12,11	12,47	3.06 %



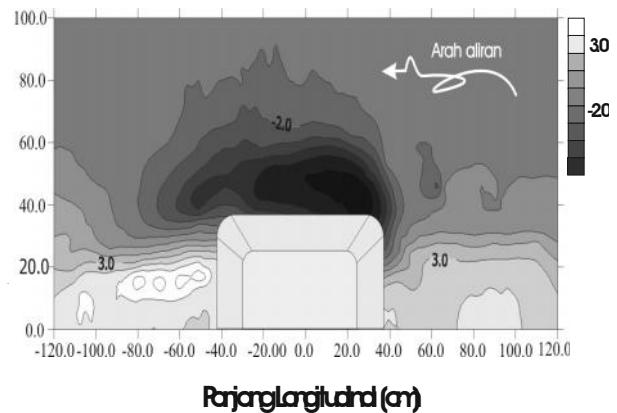
Gambar 16. Hubungan (t/t_{total}) dengan (d_s/L_b) Proteksi Tirai 1 Tiang di kaki bantaran Pada Sembilan Posisi Titik Pengamatan



Gambar 15. Kedalaman Gerusan Maksimum Pada Posisi Titik 3 untuk masing-masing variasi tirai

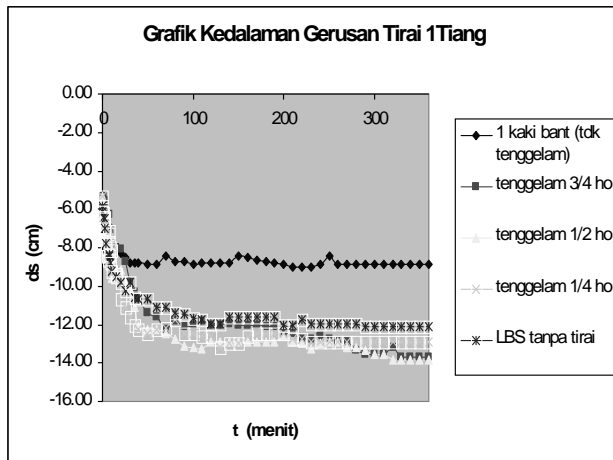
Dari grafik di atas terlihat bahwa untuk **1 tiang pas kaki bantaran** (Tirai 1 di kaki bantaran) berada pada posisi teratas yang menunjukkan nilai reduksi terbesar diantara yang lain. Sedangkan grafik untuk **1 tiang pas kaki bantaran** yang menggambarkan 9 titik posisi pengamatan pada abutmen dapat dilihat pada Gambar 16. Sedangkan gambar konturnya 2D ditunjukkan pada Gambar 17.

Pada Gambar 16, terlihat adanya trend / kecenderungan dari posisi 1 di hulu hingga posisi 9 di hilir menunjukkan kedalaman gerusan semakin dangkal ke arah hilir, dan pada akhirnya terjadi pengendapan sedimen pada posisi di titik 9, pada posisi titik 3 adalah merupakan posisi kedalaman gerusan terdalam.



Gambar 17. Kontur Permukaan Gerusan Abutmen kondisi LBS dengan 1 tirai di kaki bantaran

Berdasarkan hasil pengamatan di atas, maka proteksi dengan 1 tiang pas kaki bantaran adalah merupakan model pengendalian gerusan yang paling bagus dan efisien karena dapat mereduksi kedalaman gerusan dengan baik sebesar 26,58 %. Model ini bila kita uji dalam kondisi tenggelam di bawah permukaan air dengan variasi tinggi tenggelam terdiri dari : $\frac{3}{4} h_0$, $\frac{1}{2} h_0$, dan $\frac{1}{4} h_0$ (h_0 = kedalaman aliran). Hasil penelitian masing-masing tiang tunggal tenggelam dibandingkan dengan tiang tunggal tidak tenggelam pada posisi pengamatan titik-3 (titik 3 merupakan titik yang paling maksimum) pada waktu mencapai 360 menit ditunjukkan pada Tabel 3 berikut, dan juga dapat dilihat grafiknya pada Gambar 18 berikut.



Gambar 18. Perbandingan Kedalaman Gerusan Antara Tiang Tenggelam, Tidak Tenggelam dan LBS Tanpa Proteksi

Berdasarkan dari hasil pengamatan yang ditunjukkan pada Gambar 18 dan hasil analisis reduksi pada Tabel 3 terlihat bahwa nilai reduksi gerusan bernilai negatif. Jadi pemasangan tirai 1 tiang di kaki bantaran dengan tenggelam hanya akan menambah daya pusaran yang menyebabkan semakin dalamnya kedalaman gerusan di sekitar abutmen. Kondisi di atas semuanya terjadi dalam kondisi adanya angkutan sedimen (*live-bed scour*).

Tabel 3. Nilai Reduksi Gerusan Untuk Masing- masing Variasi Tirai Tenggelam dengan Tirai Tidak Tenggelam

No	Posisi Tirai	ds LBS (cm)	ds (cm)	Nilai Reduksi
1	2	3	4	5
1	Tirai 1 di kaki bantaran (tdk tenggelam)	12,11	8,89	26,58 %
2	Tirai 1 di kaki bantaran (tenggelam ¾ ho)	12,11	13,72	-13,29 %
3	Tirai 1 di kaki bantaran (tenggelam ½ ho)	12,11	13,81	-14,04 %
4	Tirai 1 di kaki bantaran (tenggelam ¼ ho)	12,11	12,91	-6,61 %

Gerusan Pada Wing-Wall Abutment Tanpa Proteksi Tirai

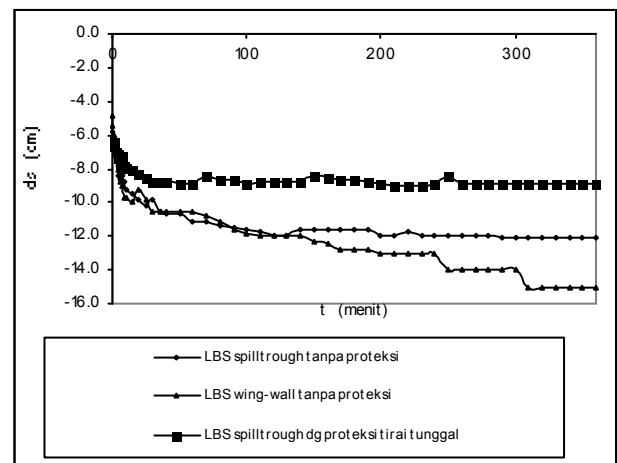
Pada penelitian gerusan tipe *wing-wall* dilakukan tanpa menggunakan proteksi tirai, pengamatan dilakukan dengan kondisi aliran *live-bed* pada debit 30 l/det. Pengamatan dilakukan selama 360 menit. Penelitian gerusan pada tipe *wing-wall* ini dimaksudkan sebagai pembandingan terhadap tipe *spilltrough*. Hasil penelitian pada masing-masing kondisi aliran untuk posisi pengamatan titik-4 (titik kedalaman gerusan paling maksimum untuk tipe

wing-wall) sampai mencapai waktu 360 menit ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kedalaman Gerusan Tanpa Proteksi Pada Tipe *Spilltrough* dan *Wing-wall*

No	ds (cm)	Tipe Abutmen	Posisi Titik	Kondisi
1	2	3	4	5
1	12,11	<i>spilltrough</i>	3	LBS
2	15,00	<i>wing-wall</i>	4	LBS

Berdasarkan Tabel 4 di atas, terlihat bahwa kedalaman gerusan yang terjadi pada tipe *wing-wall* mempunyai kedalaman gerusan yang lebih besar dibandingkan dengan tipe *spilltrough*. Jika dibandingkan dengan proteksi tirai dan tanpa proteksi tirai yang lain dalam kondisi LBS dapat dilihat pada grafik Gambar 19 berikut ini.



Gambar 19. Perbandingan Kedalaman Gerusan LBS Tanpa Proteksi dan dengan Proteksi untuk Tipe *Spilltrough* dan *Wing-wall*

Terlihat dari grafik di atas, tipe *wing-wall* mempunyai kedalaman gerusan yang lebih besar dibandingkan dengan yang lain pada kondisi *live-bed scour*. Dengan demikian bahwa tipe abutmen *spilltrough* jauh lebih bagus dalam mereduksi gerusan dibandingkan dengan tipe *wing-wall*. Hal ini disebabkan tipe *wing-wall* mempunyai daya hambat terhadap aliran air yang jauh lebih besar dibandingkan dengan tipe *spilltrough*.

KESIMPULAN

1. Proses gerusan yang terjadi pada abutmen tipe *spilltrough* maupun tipe *wing-wall* pada saluran majemuk berjalan dari hulu ke hilir di sekitar

- tubuh abutmen. Gerusan mempunyai kedalaman maksimum di titik separasi aliran (pas di hulu kaki abutmen) dan mempunyai kecenderungan kedalaman gerusan yang semakin dangkal ke arah hilir yang pada akhirnya terjadi pengendapan sedimen di hilir abutmen. Pengendapan ini berkembang terus hingga akhirnya tererosi kembali ke bagian hilir, akhirnya terkumpul serta endapan bertambah di bagian hilir dan semakin panjang seiring dengan bertambahnya waktu.
2. Kedalaman gerusan maksimum pada kondisi LBS baik tanpa proteksi maupun dengan proteksi tirai terjadi pada titik separasi aliran (*point of separation*) yaitu posisi titik-3 untuk tipe abutmen *spilltrough* dan posisi titik-4 untuk tipe *wing-wall*. Sedangkan terjadi agradasi pada posisi titik-9 untuk tipe *spilltrough* dan posisi titik-8 untuk tipe *wing-wall*.
 3. Proses kedalaman gerusan untuk kondisi LBS dengan menggunakan proteksi maupun tanpa proteksi tirai pada akhirnya akan sampai kepada kedalaman gerusan yang mencapai keseimbangan pada waktu tertentu.
 4. Berdasarkan kajian persamaan fungsi menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat antara kedalaman gerusan dengan angka Reynold dan angka Froud aliran. Sehingga kedalaman gerusan sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kedalaman aliran, kekentalan aliran, gravitasi aliran dan lebar dasar abutmen. Semakin besar kecepatan aliran atau semakin lebar dasar abutmen atau juga semakin tinggi kedalaman aliran akan menyebabkan semakin besarnya kedalaman gerusan.
 5. Kontur gerusan di sekitar abutmen mempunyai bentuk yang hampir sama untuk semua debit aliran yaitu lubang gerusan berbentuk setengah sepatu kuda. Besarnya lubang gerusan sangat dipengaruhi oleh besarnya kecepatan aliran, baik mempengaruhi ukuran panjang maupun lebar lubang gerusan.
 6. Pemasangan proteksi tirai di hulu abutmen dapat mengadakan reduksi kedalaman gerusan. Reduksi kedalaman gerusan akan mencapai nilai maksimum pada jarak tirai yang optimum terhadap as abutmen. Jarak optimum untuk saluran majemuk dicapai sejauh 1,75 kali lebar dasar abutmen ($1,75 L_b$).
 7. Pemasangan tiang tunggal (1 tiang) pas di kaki bantaran sejauh jarak optimum pada abutmen tipe *Spilltrough* mempunyai daya reduksi kedalaman gerusan paling besar diantara tirai yang lain, yaitu sebesar 26,58 % pada kondisi LBS.

8. Pemasangan tiang tunggal dalam kondisi tenggelam di bawah permukaan air pada kondisi LBS tidak menghasilkan daya reduksi yang lebih bagus, melainkan menambah dalamnya gerusan karena semakin menambah daya pusaran.
9. Berdasarkan hasil pengamatan, tipe *spilltrough* lebih bagus dibandingkan dengan tipe *wing-wall* dalam mereduksi kedalaman gerusan. Hal ini disebabkan tipe *wing-wall* mempunyai daya hambat aliran yang jauh lebih besar dibandingkan dengan tipe *spilltrough*.

UCAPAN TERIMA KASIH

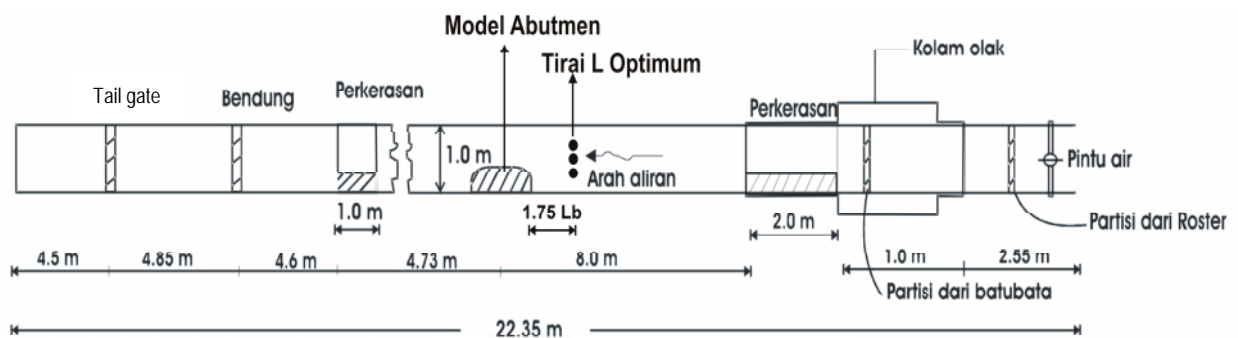
Penulis mengucapkan terima kasih atas seluruh pembiayaan penelitian ini yang merupakan bagian dari Research Grant Program Hibah Technological and Professional Skills Development Sector Project (TPSDP), Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta untuk Tahun Anggaran 2004 Batch III di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J., 1991. *Scouring*. IAHR Hydraulic Structure Design Manual, 1st ed., A.A. Balkema, Rotterdam.
- Chiew, Y.M., 1992. Scour Protection at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, No. 9, pp. 1260-1269, ASCE, New York.
- Hoffmans, G.J.C.M. and Verheij, 1997. *Scour Manual*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Kironoto, B.A. and Graf, W.H., 1995. Turbulence Characteristics in Rough Uniform Open-Channel Flow. *Journal of Water Maritime and Energy*, Vol. 112, Issue 4, London.
- Jaji Abdurrosyid, 2004. *Kajian Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan Pada Kondisi Adanya Angkutan Sedimen*. Tesis S2, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Legono, D., 1990. *Gerusan pada Bangunan Sungai*. PAU Ilmu-Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Melville, B. W., 1995. Bridge Abutment Scour In Compound Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol 121, No. 12, pp. 863-868. ASCE, New York.
- Melville, B.W. and Hadfield, A.C., 1999. Use of Sacrificial Piles as Pier Scour Countermeasures. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol 125, No. 11, pp. 1221-1224. ASCE, New York.

- Raudkivi, A.J. and Ettema, R., 1983. Clear-Water Scour at Cylindrical Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 109, No. 3, pp. 338-350, ASCE, New York.
- Rinaldi, 2002. *Model Fisik Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan*. Tesis S2, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Yulistiyanto B., Zech Y. and W.H. Graf, 1998. Free-Surface Flow Around a Cylinder: Shallow - water Modeling with Diffusion-Dispersion. *Journal Hydraulic Engineering*, Vol. 124, No.4, pp. 419-429, ASCE, New York.

LAMPIRAN :



Gambar 2. Tampak atas flume

Tabel Lampiran – 1. Kedalaman gerusan seimbang (d_s) pada *live-bed scour*

No Running	Debit lt/dt	Kedalaman gerusan seimbang (d_s), cm.									Ket.
		Pos.1	Pos.2	Pos.3	Pos.4	Pos.5	Pos.6	Pos.7	Pos.8	Pos. 9	
1	23	1,24	-8,15	-9,49	-8,60	-8,60	-8,24	-8,06	-2,34	4,73	d _{se} pada t = 360 menit
2	20	4,56	-3,93	-8,85	-8,41	-8,41	-8,32	-6,17	-0,36	5,32	
3	15	5	-2,82	-7,02	-6,93	-6,13	-6,13	-4,70	-0,05	5	
4	10	5	-2,33	-5,73	-5,64	-4,57	-3,50	-3,94	0,89	5	
5	30	-3,88	-9,96	-12,11	-10,77	-10,68	-10,50	-8,89	-2,90	5	

Tabel Lampiran – 2 . Lebar dan panjang lubang gerusan pada kontur, serta hubungannya

No	Q (m ³ /dt)	U* (m/dt)	L (m)	P (m)	U (m/dt)	U/U*	d _s (m)	L/d _s	P/d _s
1	0.010	0.014	0.180	0.330	0.276	19.207	0.057	3.158	5.789
2	0.015	0.019	0.150	0.430	0.364	19.445	0.070	2.143	6.143
3	0.020	0.018	0.160	0.590	0.369	19.976	0.089	1.798	6.629
4	0.023	0.019	0.190	0.550	0.376	20.221	0.095	2.000	5.789
5	0.030	0.019	0.250	0.550	0.393	20.676	0.121	2.066	4.545