

Perbandingan Beberapa Formula Perhitungan Gerusan di Sekitar Pilar (Kajian Laboratorium)

Agung Wiyono H.S¹⁾
Indratmo Soekarno¹⁾
Andi Egon²⁾

Abstrak

Sungai adalah salah satu sumberdaya air yang penting bagi kehidupan. Alur sungai ada yang lurus dan ada pula yang berkelok-kelok. Sarana transportasi jalan yang melintasi sungai memerlukan jembatan.

Pada jembatan dengan bentang yang relatif lebar, umumnya memerlukan struktur pilar untuk menopangnya. Pilar yang ditanam pada dasar sungai memerlukan kriteria disain sedemikian sehingga bila dasar saluran disekitar pilar jembatan tersebut tergerus, maka gerusan tersebut tidak mencapai kedalaman yang membahayakan kestabilan pilar.

Dalam penelitian ini, model pilar dibangun pada model sungai di Laboratorium Uji Model Fisik Hidraulik, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB.

Kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada model diamati untuk berbagai aliran debit yang berbeda. Hasil pengamatan yang didapat dibandingkan dengan hasil hitungan dari beberapa formula. Formula Colorado State University (CSU) adalah formula yang paling mendekati hasil pengamatan.

Kata-kata Kunci: *Gerusan, pilar, sungai.*

Abstract

River is water resources, which is important for humankind. The morphology of the river might to be straight or to be meander. A highway that cross a river needs a bridge.

In the wide river, the bridge needs pillars to support it. Pillars that construct in the river need to have design criteria so that erosion that might be happened would not cause the pillars to be unstable.

In this research, models of pillars in the river model were constructed in the Hydraulic Laboratory, Civil Engineering Departement ITB.

Local Scours of the pillars were examined in the various discharges. The results were compared with several methods. The method of Colorado State University (CSU) is recommended in calculating the depth of the local scour in the reseach model condition.

Keywords: *Scour, pier, river.*

1. Latar Belakang

Saluran yang dijumpai di alam mempunyai beberapa macam morfologi sungai yaitu, sungai lurus, sungai dengan tikungan, dan sungai yang menganyam.

Sungai lurus terjadi pada daerah yang belum stabil dan untuk menyalurkan energinya sungai ini akan memperpanjang aliran dan membentuk *meander*.

Sungai dengan tikungan dapat terjadi pada daerah aluvial atau tanah keras. Sudut tikungan yang dibentuk bisa berbagai macam, misalnya 90° atau 180°. Tipe sungai dengan tikungan pada umumnya diakibatkan karena adanya usaha sungai untuk mencapai kestabilan. Fenomena yang terjadi pada tikungan sungai, yaitu perubahan distribusi kecepatan dan tegangan geser, terdapat aliran sekunder terjadi gerusan dan timbunan.

1. Staf Pengajar Prodi Teknik Sipil FTSL-ITB.
2. Alumni Prodi Teknik Sipil FTSL-ITB.

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada Juli 2005 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 02 Agustus 2005 - 20 September 2005. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 18 Nopember 2006 hingga 25 Nopember 2005.

Sungai yang menganyam biasanya terjadi pada daerah yang terjal dengan butiran seragam dan mempunyai alur yang berpindah - pindah. Jadi setiap musim, sungai ini dapat berubah bentuk.

Jembatan adalah sarana transportasi yang menghubungkan dua tempat yang terpisahkan oleh sungai. Dari berbagai jenis jembatan, terdapat jembatan yang menggunakan pilar (*pier*) sebagai tumpuan penyalur beban. Pilar adalah bagian jembatan yang berhubungan secara langsung dengan sungai.

Terdapat berbagai macam jenis pilar yang digunakan sebagai penyalur beban jembatan. Pemilihan jenis pilar umumnya ditentukan dari analisis kekuatan, analisis ekonomi, analisis lingkungan.

Pada kenyataannya banyak terdapat keruntuhan pada jembatan. Hal tersebut disebabkan oleh berbagai faktor antara lain yaitu:

- Beban yang dipikul jembatan melebihi batas maksimum yang telah ditentukan.
- Bencana alam seperti gempa, erosi, banjir dan lain-lain.
- Perubahan morfologi sungai akibat adanya bangunan dalam usaha sungai untuk mencapai kestabilan. Salah satu fenomena yang terjadi adalah gerusan lokal (*local scouring*).
- Penyebab lainnya.

Dalam tulisan ini, akan dibahas fenomena gerusan lokal (*local scouring*) pada pilar silinder. Dengan menggunakan model flume terbuka yang terdapat di Lab Uji Model Hidraulika akan diperoleh data primer tentang gerusan lokal pada pilar silinder untuk dibandingkan dengan beberapa formula yang sudah ada, yaitu, laursen (1962), Neill, Shen et al. (1969), CSU (1975) yang kemudian direvisi oleh Richardson & Davis (1995) dan Jain & Fischer (1979).

2. Gerusan pada Pilar

2.1 Jenis gerusan

Gerusan yang terjadi pada sungai dapat digolongkan menjadi:

1. Gerusan umum (*general scour*)
Gerusan umum ini merupakan suatu proses alami yang terjadi pada sungai
2. Gerusan akibat penyempitan di alur sungai (*contraction scour*)
3. Gerusan lokal (*local scour*)
Gerusan lokal ini pada umumnya diakibatkan oleh adanya bangunan air, misal, tiang atau pilar jembatan. Ada dua macam gerusan lokal, yaitu :

a. Clear water scour

Pergerakan sedimen hanya terjadi pada sekitar pilar. Ada dua macam

i. Untuk $\left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \leq 0,5$

Gerusan lokal tidak terjadi dan proses transportasi sedimen tidak terjadi.

ii. Untuk $0,5 \leq \left(\frac{U}{U_{cr}}\right) \leq 1,0$

Gerusan lokal terjadi menerus dan proses transportasi sedimen tidak terjadi

b. Live bed scour

Terjadi karena adanya perpindahan sedimen. Yaitu jika

$$\left(\frac{U}{U_{cr}}\right) > 1,0$$

Keterangan :

U : kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

U_{cr} : kecepatan aliran kritis (m/detik)

2.2 Formulasi gerusan

Variabel-variabel yang berpengaruh pada gerusan lokal, meliputi :

1. Kondisi fluida, yaitu :
 - Kerapatan (ρ)
 - Kekentalan / viskositas kinematis (ν)
 - Gravitasi (g)
 - Kecepatan (U)
 - Kedalaman aliran (d_o)
2. Kondisi dasar sungai, yaitu :
 - Diameter butiran sedimen (D_s)
 - Kerapatan massa (ρ_s)
 - Distribusi butiran
 - Bentuk butiran
3. Faktor geometrik pilar, yaitu :
 - Tebal pilar (b)
 - Panjang pilar (L)
 - Bentuk muka pilar
 - Sudut arah aliran (α)
 - Jarak antar pilar (λ)

Karena variabel yang sangat banyak maka dikaji yang relatif dominan dan diperoleh bahwa kedalaman gerusan (d_s) merupakan fungsi :

$$d_s = f(\rho, \nu, d, D_s, \rho_s, d_o, U, b, \alpha, \lambda)$$

2.3 Gerusan lokal pada pilar

Untuk menghitung kedalaman gerusan lokal untuk pilar dapat digunakan beberapa formula, yaitu :

1. Laursen (1962)

$$\frac{b}{d_0} = 5,5 \cdot \frac{d_s}{d_0} \left(\frac{1}{11,5} \cdot \frac{d_s}{d_0} + 1 \right)^{1,5} - 1 \quad (1)$$

Formula ini dapat digunakan jika :

- Diameter sedimen 0,46 mm s.d. 2,20 mm
- Pilar silinder

2. Neill

$$d_s = 1,5 \cdot \left(\frac{d_0}{b} \right)^{0,3} \cdot b \quad (2)$$

Formula ini merupakan modifikasi dari formula Laursen. dan dapat digunakan untuk pilar silinder.

3. Shen et al. (1969)

$$d_s = 0,000223 \cdot \left(\frac{U b}{v} \right)^{0,619} \cdot b \quad (3)$$

$$d_s = 3,4 \cdot (F_0)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{d_0}{b} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot b$$

Formula ini dapat digunakan jika :

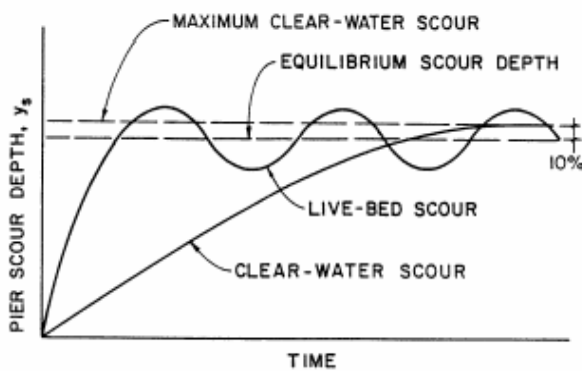
- Diameter sedimen 0,17 mm s.d. 0,68 mm
- Diameter pilar 50 mm s.d. 152 mm

4. CSU (1975)

Persamaan ini dibuat di *Colorado State University* (CSU) dan dideskripsikan oleh Richardson untuk menghitung kedalaman gerusan lokal pada pilar silinder, arah datang aliran air 0°, untuk kondisi *live bed scour* dan *clear water scour*.

Persamaan dasar CSU adalah sebagai berikut:

$$d_s = 2,2 \cdot \left(\frac{b}{d_0} \right)^{0,65} \cdot (F_0)^{0,43} \cdot d_0 \quad (4)$$



Gambar 1. Grafik hubungan kedalaman gerusan (d_s) sebagai fungsi dari waktu (t) (sumber FHWA, 2001)

Richardson dan Davis (1995) melakukan modifikasi pada persamaan gerusan lokal CSU sebelumnya dengan menambahkan faktor koreksi terhadap bentuk penampang pilar (K_1), faktor koreksi terhadap arah datang aliran air (K_2), faktor koreksi terhadap kondisi dasar permukaan dan gundukan (K_3) dan nilai koreksi untuk efek gradasi sedimen (K_4). Persamaan tersebut lebih dikenal dengan *Hydraulic Engineering Circular* (HEC-18 FHWA).

$$d_s = 2,0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \left(\frac{b}{d_0} \right)^{0,65} \cdot (F_0)^{0,43} \cdot d_0 \quad (5)$$

Besar nilai koreksi untuk efek gradasi sedimen ditentukan oleh persamaan sebagai berikut:

$$K_4 = \sqrt{1 - 0,89(1 - U_R)^2}$$

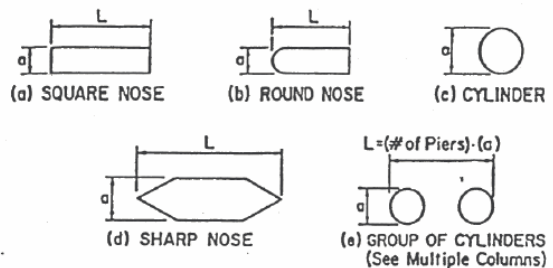
U_R adalah kecepatan tanpa dimensi :

$$V_R = \left(\frac{U_0 - U_i}{U_{c(d_{50})} - U_i} \right)$$

dimana : $V_i = 0,645 \cdot \left(\frac{d_{50}}{b} \right)^{0,055} \cdot U_{c(d_{50})}$

Tabel 1. Koefisien koreksi untuk bentuk penampang pilar (Pier)

Bentuk ujung pilar	K_1
Persegi	1,1
Bulat	1,0
Lingkaran silinder	1,0
Kumpulan silinder	1,0
Tajam	0,9



Gambar 2. Sketsa bentuk penampang pilar (pier) (Sumber FHWA, 2001)

Tabel 2. Koefisien koreksi untuk arah datang aliran air

θ	$L/a = 4$	$L/a = 8$	$L/a = 12$
0°	1,0	1,0	1,0
15°	1,5	2,0	2,5
30°	2,0	2,75	3,5
45°	2,3	3,3	4,3
90°	2,5	3,9	5,0

θ = sudut kemiringan aliran
L = panjang pilar (m)

Tabel 3. Koefisien koreksi untuk kondisi dasar saluran

Kondisi Dasar	Tinggi Gundukan (m)	K ₃
Clear water scour	-	1,1
Dasar rata dan aliran anti-dune	-	1,1
Gundukan Cecil	3 > H > 0,6	1,1
Gundukan sedang	9 > H > 3	1,1 sampai 1,2
Gundukan besar	H > 9	1,3

dimana :

d_{50} adalah median gradasi sedimen (mm)

$U_c(d_n)$ adalah kecepatan kritis untuk diameter partikel d_n

$$V_{c(d_{50})} = 6,19.d_0^{1/6}.d_n^{1/3}$$

dimana: d_0 adalah kedalaman rata-rata (m)

5. Jain & Fischer (1979)

Untuk $F_0 - F_{cr} > 0,2$

$$d_s = 2,0 \left(\frac{d_0}{b} \right)^{0,5} (F_0 - F_{cr})^{0,25} b \quad (8)$$

Untuk $0 < F_0 - F_{cr} < 0,2$

Kedalaman gerusan lokal dihitung dengan kedua rumus gerusan lokal :

• Untuk $F_0 - F_{cr} > 0,2$

$$d_{s1} = 2,0 \left(\frac{d_0}{b} \right)^{0,5} (F_0 - F_{cr})^{0,25} b \quad (9)$$

• Untuk $F_0 > F_{cr}$

$$d_{s3} = 1,84 \left(\frac{d_0}{b} \right)^{0,3} (F_0)^{0,25} b \quad (10)$$

Kemudian kedalaman gerusan lokal yang dimaksud, d_s adalah nilai terbesar dari kedua hasil perhitungan kedalaman gerusan lokal tersebut.

$$d_s = \max(d_{s1}, d_{s3}) \quad (11)$$

Untuk $F_0 > F_{cr}$

$$d_s = 1,84 \left(\frac{d_0}{b} \right)^{0,3} (F_0)^{0,25} b \quad (12)$$

Formula ini dapat digunakan jika :

- Volume besar
- Clear water flow
- Tiang bulat

Keterangan:

b : lebar pilar menghadap aliran (meter)

d_s : kedalaman gerusan (meter)

d_0 : kedalaman rata - rata (meter)

F_0 : bilangan Froude untuk kedalaman rata – rata

$$F_0 = \frac{U_0}{\sqrt{g.d_0}}$$

F_{cr} : bilangan Froude untuk kedalaman kritis

$$F_{cr} = \frac{U_{cr}}{\sqrt{g.d_0}}$$

g : percepatan gravitasi (m/detik²)

K_1 : koefisien bentuk penampang (**Tabel 1**)

K_2 : koefisien arah datang aliran air. (**Tabel 2**)

K_3 : koefisien kondisi dasar saluran (**Tabel 3**)

K_4 : koefisien efek gradasi sedimen

U : kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

U_0 : kecepatan aliran awal (m/detik)

ν : viskositas kinematis air (m²/detik)

3. Metode Penelitian Laboratorium

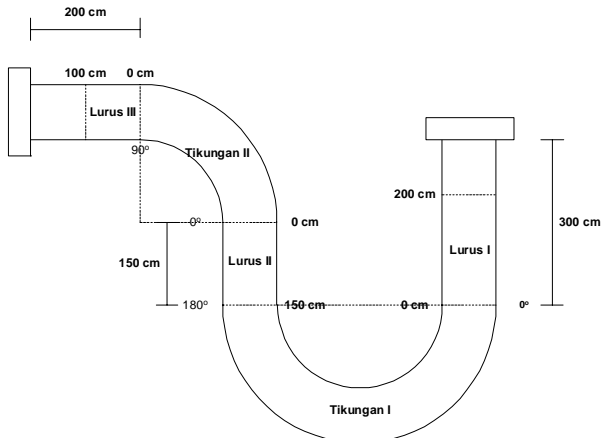
Penelitian dengan menggunakan model saluran terbuka ber dinding *fiberglass* dengan dasar semen yang memiliki sudut tikungan 90° dan 180° serta bagian lurus. Panjang as saluran dari hulu ke hilir adalah 12,4 meter, lebar saluran 0,5 meter dan tinggi saluran 0,4 meter. Dari hulu ke hilir, saluran ini terdiri dari lima bagian yaitu :

- Bagian lurus I: saluran lurus sepanjang 3 meter
- Bagian tikungan I: saluran menikung 180° dan berjari – jari as 1,25 meter
- Bagian lurus II: saluran lurus sepanjang 1,5 meter
- Bagian tikungan II: saluran menikung 90° dan berjari – jari as 1,25 meter
- Bagian lurus III: saluran lurus sepanjang 2 meter

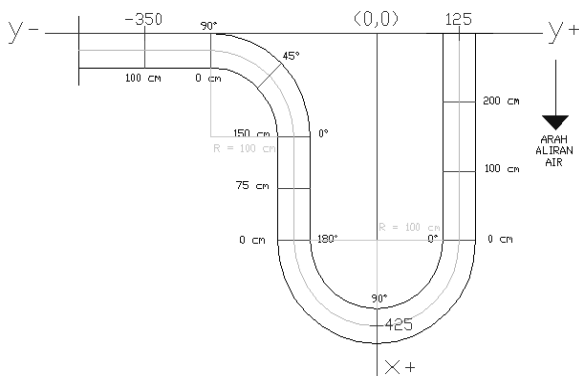
Untuk memudahkan dalam menganalisa data, maka posisi segmen akan dituliskan seperti yang tertulis pada model saluran terbuka tersebut (**Gambar 3**). Jika diurutkan searah dengan arah aliran air, maka :

- Bagian lurus I : memiliki segmen antara 200 cm – 0 cm
- Bagian tikungan I : memiliki segmen antara 0° - 180°
- Bagian lurus II : memiliki segmen antara 0 – 150 cm
- Bagian tikungan II : memiliki segmen antara 0° - 90°
- Bagian lurus III : memiliki segmen antara 0 - 100 cm

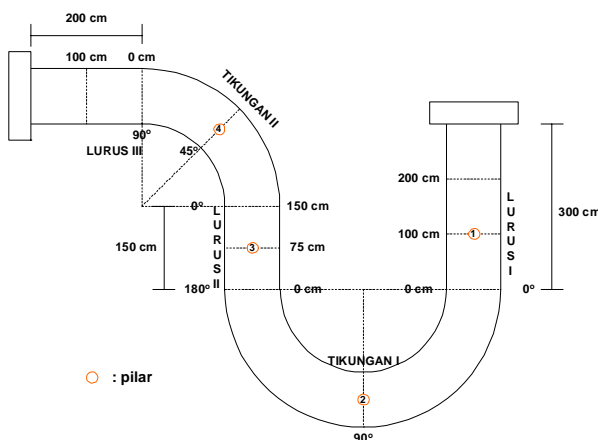
Pada kondisi riil di lapangan dinding saluran tidak tetap, gerusan yang terjadi pada dinding saluran dapat menyebabkan saluran bergeser. Model saluran tersebut tidak ada di Laboratorium Uji Model Hidraulik, dan membutuhkan dana yang besar untuk membuat model tersebut. Maka, digunakanlah model saluran terbuka dengan dinding tetap yang sudah ada.



Gambar 3. Denah saluran



Gambar 4. Denah saluran dengan sumbu saluran



Gambar 5. Sketsa penempatan pilar pada model saluran terbuka

Selain model saluran terbuka, juga digunakan alat bantu sebagai berikut:

1. Material dasar pasir dengan harga $d_{10} = 0,41$ mm, $d_{16} = 0,50$ mm, $d_{50} = 0,78$ mm, $d_{60} = 0,90$ mm, dan $d_{84} = 1,40$ mm.
2. Pilar silinder dengan diameter 5 cm dan tinggi 50 cm.
3. *Currentmeter*
4. *Thompson Weir*
5. Meteran Taraf
6. Timbangan
7. *Sandfeeder*
8. Alat bantu lainnya.

Langkah-langkah dalam melakukan percobaan dalam penelitian ini adalah :

1. Meratakan pasir setinggi 20 cm sepanjang saluran.
2. Mengukur elevasi awal saluran.
3. Mengalirkan debit aliran ke dalam saluran. Pada penelitian kali ini debit rencana yang dialirkan sebesar 7 liter/detik, 9 liter/detik dan 11 liter/detik.
4. Mengukur kecepatan aliran air dengan menggunakan *currentmeter* dan *counter* pada posisi yang telah ditentukan.
5. Mengukur tinggi permukaan air pada posisi yang telah ditentukan.
6. Mengukur elevasi akhir saluran dengan menggunakan meteran taraf pada posisi yang telah ditentukan.
7. Membuat kontur dasar saluran dengan benang dan label ketinggian kontur interval 1 cm.

4. Hasil Pengamatan Fisik

Hasil kedalaman gerusan merupakan data primer yang langsung diperoleh dari model saluran terbuka di Lab Uji Model Hidraulik (Tabel 4)

5. Hasil Perhitungan

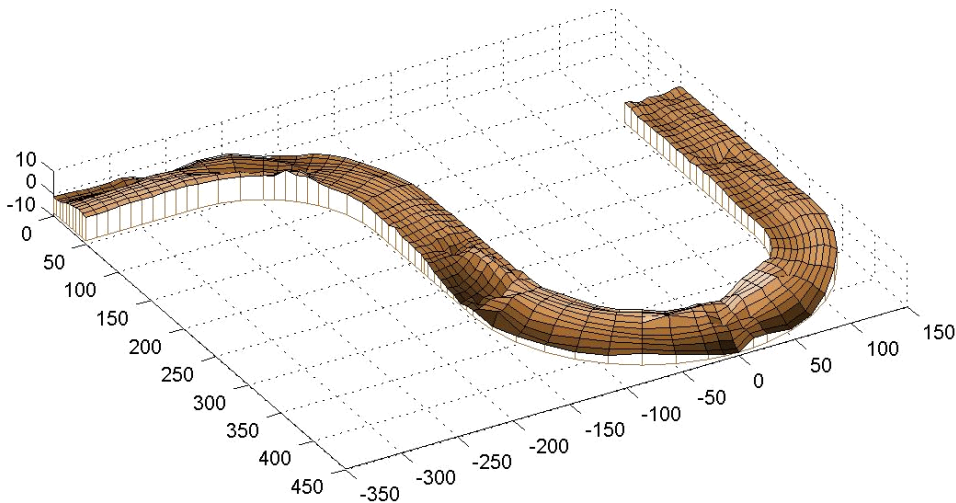
Hasil perhitungan merupakan hasil kalkulasi dengan menggunakan formula-formula sebelumnya yang telah ada. Data parameter-parameter fisik model saluran terbuka digunakan dalam penggunaan formula.

Data hasil perhitungan dan uji keakuratan disajikan pada beberapa tabel di atas.

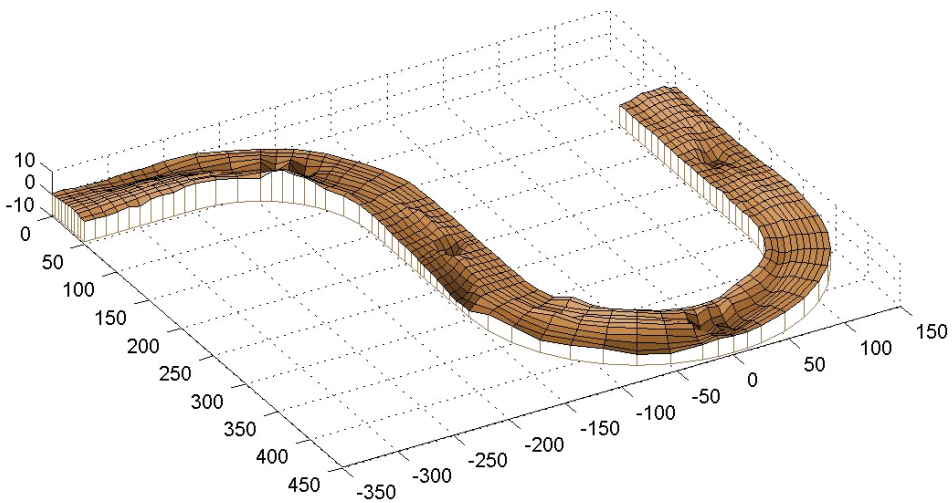
Pengukuran dilakukan dengan tiga debit rencana, yaitu 7 liter/detik, 9 liter/detik dan 11 liter/detik. Pada debit pertama, yaitu pada segmen 100 cm dengan

Tabel 4. Hasil pengamatan fisik kedalaman gerusan lokal

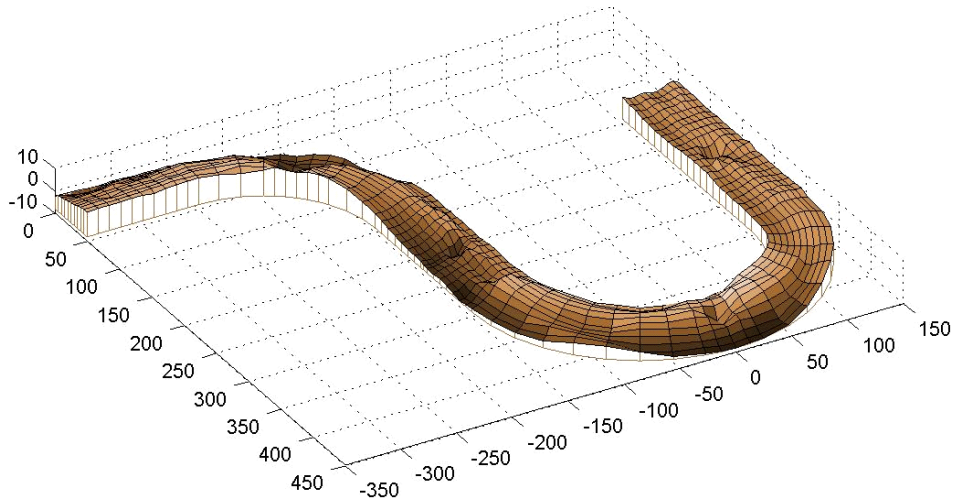
Debit rencana (lt/dt)	Pier	Posisi	Tinggi aliran d_0 (cm)	Kedalaman gerusan d_s (cm)
7	Lurus 1	100 cm	5,5	7.8200
	Tikungan 1	90°	5,5	6.0000
	Lurus 2	75 cm	5,5	6.6900
	Tikungan 2	45°	5,5	5.6200
9	Lurus 1	100 cm	6,5	7.7200
	Tikungan 1	90°	6,5	6.5100
	Lurus 2	75 cm	6,5	6.6500
	Tikungan 2	45°	6,5	7.0800
11	Lurus 1	100 cm	7,0	8.9500
	Tikungan 1	90°	7,0	7.7000
	Lurus 2	75 cm	7,0	8.3700
	Tikungan 2	45°	7,0	7.0200



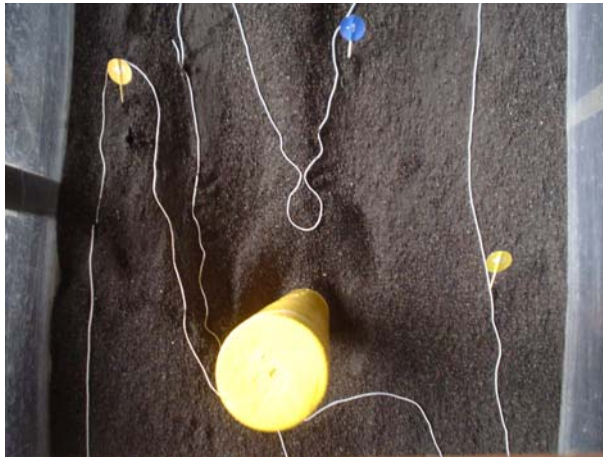
Gambar 6. Topografi dasar saluran untuk debit 7 liter/detik



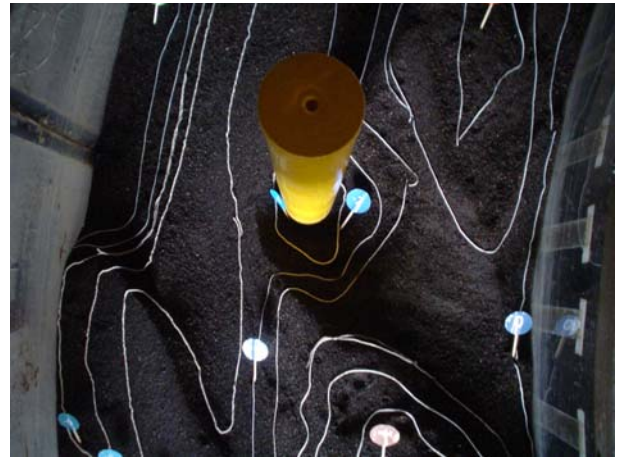
Gambar 7. Topografi dasar saluran untuk debit 9 liter/detik



Gambar 8. Topografi dasar saluran untuk debit 11 liter/detik



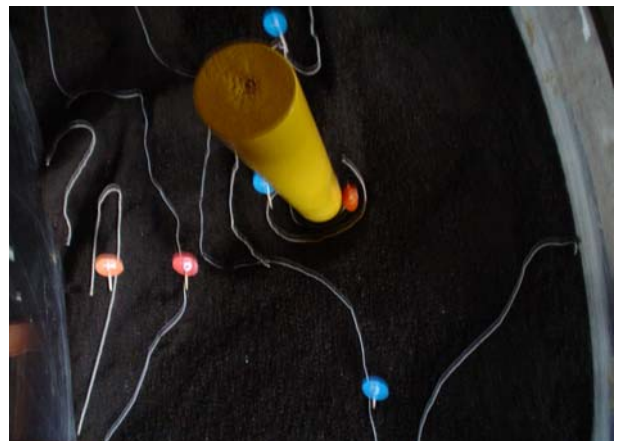
Gambar 9. Gerusan pada Pilar I (saluran lurus)



Gambar 10. Gerusan pada Pilar II (di tikungan 180°)



Gambar 11. Gerusan pada Pilar III (di saluran lurus diantara tikungan)



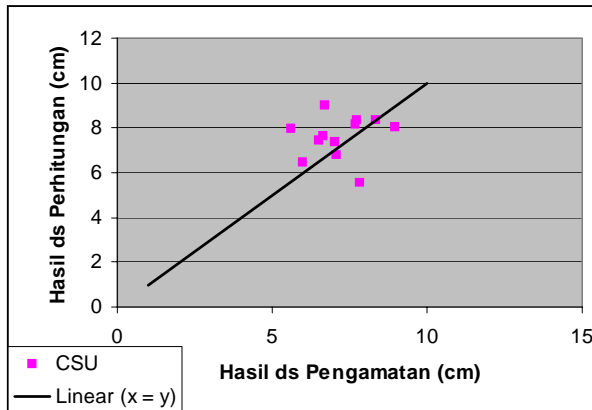
Gambar 12. Gerusan pada Pilar IV (di tikungan 90°)

Tabel 5. Perbandingan kedalaman gerusan lokal berdasarkan hasil perhitungan dan hasil pengamatan

Debit rencana Q (m ³ /dtk)	Segmen Pier	Kedalaman gerusan hasil perhitungan d _s (cm)					Kedalaman gerusan hasil pengamatan d _s (cm)
		Laursen	Neill	Shen et al.	CSU	Jain & Fischer	
0.007	100 cm	1.8292	7.7175	5.7806	5.5567	6.2424	7.8200
	90°	1.8292	7.7175	7.3044	6.4618	7.0339	6.0000
	75 cm	1.8292	7.7175	12.1467	8.9705	8.8616	6.6900
	45°	1.8292	7.7175	10.0216	7.9240	8.1539	5.6200
0.009	100 cm	2.0093	8.1142	10.4789	8.3414	8.7863	7.7200
	90°	2.0093	8.1142	8.7381	7.4191	8.0736	6.5100
	75 cm	2.0093	8.1142	9.1699	7.6535	8.2616	6.6500
	45°	2.0093	8.1142	7.6593	6.8145	7.5615	7.0800
0.011	100 cm	2.0992	8.2966	9.7608	8.0482	8.7116	8.9500
	90°	2.0992	8.2966	9.9308	8.1383	8.7823	7.7000
	75 cm	2.0992	8.2966	10.3551	8.3609	8.9539	8.3700
	45°	2.0992	8.2966	8.5576	7.3934	8.1762	7.0200

Tabel 6. kesalahan hasil perhitungan kedalaman gerusan lokal terhadap hasil pengamatan

debit rencana Q (m ³ /dtk)	segmen pier	Kesalahan Hasil Perhitungan Terhadap Pengamatan (%)				
		Laursen	Neill	Shen et al.	CSU	Jain & Fischer
0.007	100 cm	76.6091	1.3102	26.0789	28.9427	11.5877
	90°	69.5138	28.6257	21.7407	7.6970	25.8084
	75 cm	72.6581	15.3594	81.5657	34.0886	36.5555
	45°	67.4525	37.3228	78.3210	40.9971	51.2393
0.009	100 cm	73.9722	5.1059	35.7365	8.0490	19.0169
	90°	69.1344	24.6417	34.2256	13.9641	31.7764
	75 cm	69.7842	22.0176	37.8939	15.0907	31.3766
	45°	71.6194	14.6070	8.1817	3.7495	15.2714
0.011	100 cm	76.5455	7.3007	9.0591	10.0761	2.7171
	90°	72.7380	7.7479	28.9716	5.6927	20.1745
	75 cm	74.9202	0.8771	23.7167	0.1083	12.3179
	45°	70.0972	18.1851	21.9028	5.3197	24.5921
	Rata-rata =	72.087057	15.258415	33.949517	14.4813	23.53614009
	Maksimum =	76.609063	37.322833	81.565743	40.997133	51.2393197
	Minimum =	67.452468	0.8770506	8.1816671	0.1083387	2.717087447



Gambar 12. Perbandingan hasil pengukuran dengan pengamatan

menggunakan metode CSU didapatkan kedalaman gerusan lokal = 5,5 cm, sedang berdasarkan hasil pengamatan fisik di lapangan ternyata hasil kedalaman gerusan lokal yang didapat = 7,8 cm. Perbedaan hasil tersebut dapat dikatakan mencolok sebab error relatifnya = 24,9%. Untuk data lainnya dapat dilihat dalam **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Jika dilihat dari **Tabel 5** dan **6** di atas bahwa 50% hasil perhitungan metode CSU mempunyai kesalahan tidak mencolok dengan error relatif kecil ($error \leq 10\%$), 40,9% hasil perhitungan metode CSU mempunyai kesalahan agak mencolok dengan error relatif sedang ($10\% < error \leq 40\%$) dan hanya 8,3% hasil perhitungan metode CSU mempunyai kesalahan mencolok dengan error relatif besar ($error > 40\%$) jika dibandingkan dengan hasil pengamatan fisiknya; maka dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan metode CSU akan mendekati hasil pengamatan fisiknya.

Dapat disimpulkan pula bahwa hasil perhitungan menurut metode CSU memiliki error relatif yang terkecil jika dibandingkan dengan hasil perhitungan menurut metode lainnya.

Hal ini disebabkan :

1. Penggunaan variabel yang lebih banyak
Metode CSU memperhitungkan variabel yang lebih banyak jika dibandingkan dengan metode Laursen, Neill dan Shen et al., antara lain : lebar pilar (b), kedalaman aliran normal (d_0), kecepatan aliran (U) dan bilangan Froude untuk kecepatan aliran tersebut (F_0).
2. Metode CSU menggunakan banyak faktor koreksi dibandingkan dengan metode-metode lainnya
Untuk persamaan Richardson dan Davis HEC-18 FHWA (1995) dan Johnson, yang merupakan revisi dari persamaan CSU (1975) terdapat empat faktor koreksi, yaitu K_1 , K_2 , K_3 dan K_4 . K_1 merupakan koreksi berdasarkan bentuk pilar, K_2 merupakan

koreksi berdasarkan arah datang aliran air, K_3 merupakan koreksi kondisi dasar saluran, dan K_4 merupakan koreksi terhadap gradasi sedimen.

Lebih banyaknya faktor koreksi pada metode CSU menyebabkan persamaan ini menghasilkan hasil perhitungan yang lebih mendekati hasil pengamatan.

3. Persamaan dasar CSU (1975) direvisi oleh Richardson dan Davis pada tahun 1995, dan kemudian direvisi lagi oleh Johnson. Juga terdapat modifikasi persamaan CSU oleh Salim dan Jones (2000) sehingga persamaan berlaku untuk pilar kompleks (*Complex Pier*).

6. Kesimpulan

Hasil perhitungan dengan menggunakan lima metode yang berbeda, akan memberikan hasil yang berbeda pula dengan setiap hasil perhitungan gerusan lokal tersebut akan berbeda dengan gerusan lokal hasil pengamatan fisik.

Urutan ketidaktepatan hasil perhitungan tersebut, yaitu : metode Laursen (dengan kesalahan relatif 72%) metode Shen et al. (dengan kesalahan relatif 33,9%), metode Jain dan Fischer (dengan kesalahan relatif 23,5%), metode Neill (dengan kesalahan relatif 15,2%) dan metode CSU (dengan kesalahan relatif 14,4%).

Dari kelima perhitungan tersebut, hasil perhitungan yang paling mendekati hasil pengamatan atau yang memiliki error relatif terkecil terhadap hasil pengamatan yaitu hasil perhitungan menurut metode *Colorado State University* (CSU).

Metode CSU akan memiliki error relatif terkecil, sebab :

- CSU menggunakan variabel yang lebih banyak, antara lain : lebar pilar (b), kedalaman aliran normal (d_0), dan bilangan Froude pada kondisi kedalaman aliran normal (F_0).
- CSU memiliki empat faktor koreksi, yaitu, koreksi terhadap bentuk penampang pilar, koreksi terhadap arah datang aliran air, koreksi terhadap material dasar saluran, koreksi terhadap gradasi.
- CSU tidak menggunakan grafik sehingga akan mengurangi kesalahan pengamatan.
- Penelitian formula CSU dilakukan secara berkesinambungan sehingga formula tersebut selalu diperbaharui menjadi formula yang lebih akurat.
- Metode ini dapat digunakan baik untuk kondisi *clear water scour* maupun kondisi *live bed scour*.

- CSU tidak memerlukan persyaratan tertentu dalam penggunaannya.

Terdapat tiga jenis gerusan, yaitu gerusan umum (*General Scour*), gerusan akibat penyempitan di alur sungai (*Contraction Scour*) dan gerusan lokal (*Local Scour*). Dari ketiga jenis gerusan tersebut, maka dapat diketahui bahwa :

- Gerusan yang terjadi pada pilar yang terletak pada saluran lurus adalah gerusan lokal
- Gerusan yang terjadi pada pilar yang terletak pada bagian tikungan saluran adalah gerusan lokal ditambah dengan gerusan umum akibat tikungan saluran.

Daftar Pustaka

- Asmat, R.J., 2002, "*Gerusan Lokal pada Tikungan Saluran Tanpa dan Adanya Krib (Penelitian Laboratorium)*", Tesis Magister, Bidang Studi MP – Pengembangan Sumberdaya Air, Jurusan Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung.
- Blazejewski dan Pilarczyk, 1995, "*River Training Techniques, Fundamentals, Design and Applications*", A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Chang, Howard, H., 1987, "*Fluvial Processes in River Engineering*", California: John Wiley and Sons.
- DOT Research Record, 2000, "*Evaluation of Pier--Scour Measurement Methods and Pier--Scour Predictions with Observed Scour Measurements at Selected Bridge Sites in New Hampshire*".
- Egon, A., 2005, "*Perhitungan Kedalaman Gerusan Dengan Adanya Pilar Silinder di Saluran Lurus dan Tikungan Saluran (Kajian Laboratorium)*", Departemen Teknik Sipil, ITB, Bandung
- Federal Highway Administration (FHWA), US Department of Transportation, 2003, "*Evaluating Scour at Bridge*", Fourth Edition, National Highway Institute.
- Jones, J.S., Sheppard, D.M., "*Scour at Wide Bridge Piers*".
- Koopaei, K.B., Valentine, E.M., "*Bridge Pier Scour in Self-Formed Laboratory*".
- Nugroho, J., 2000, "*Optimasi Pemasangan Krib di Saluran Menikung (Kajian Laboratorium dan Numerik)*", Tesis Magister, Bidang Khusus Teknik Sumberdaya Air, Jurusan Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana ITB, Bandung
- Richardson, E.V., Davis, S.R., 1995, "*Evaluating Scour at Bridges*", Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18), Publication No. FHWA-IP-90-017, Third Edition, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Rijn, V., Leo, C., "*Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Oceans*", University of Utrecht.
- Soekarno, I., 1999, "*Pengerusan Lokal di Sekitar Pilar Jembatan Akibat Aliran Air*", Jurnal Teknik Sipil. Vol 6. No 3. Juli.
- Sheppard D.M., 2003, "*Large Scale and Live Bed Local Pier Scour Experiments*", September, University of Florida.
- Sheppard, D.M., 2003, "*Scour at Complex Pier*", March, University of Florida.
- Yang, T., Chih, 1996, "*Sediment Transport : Theory and Practice*", The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Yanmaz, Melih, A., 2000, "*Uncertainly of Local Scouring Parameters around Bridge Piers*", April, Middle East Technical University
- Yanmaz, Melih, A., Ustun, Ismail, 2001, "*Generalized Reliability Model for Local Scour around Bridge Piers of Various Shapes*, March, Middle East Technical University.