

Gerusan yang Terjadi di Sekitar *Abutment* Tanpa Sayap pada Jembatan (Kajian Laboratorium)

Agung Wiyono H.S.¹⁾
Widyaningtias²⁾

Abstrak

Sungai sebagai salah satu sumber daya air yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Pemanfaatan sungai yang tidak ramah lingkungan menjadi salah satu masalah yang belum terpecahkan hingga saat ini. Termasuk juga optimalisasi sungai sebagai sarana transportasi air, baik secara langsung memanfaatkan aliran sungai, ataupun memanfaatkan badan sungai sebagai penopang jembatan. Salah satu bagian terpenting dari jembatan adalah *abutment* jembatan. *Abutment* jembatan adalah struktur di ujung-ujung jembatan yang berfungsi sebagai kaki jembatan dan tumpuan atau penyalur beban, dalam hal ini struktur tersebut masuk ke dalam sungai. Pemodelan suatu saluran terbuka dengan pemasangan *abutment* pada empat titik, yaitu pada saluran lurus, saluran dengan tikungan 180°, saluran lurus diantara tikungan, dan saluran dengan tikungan 90°. Tujuan pemodelan ini adalah untuk mengetahui besar gerusan yang terjadi pada sungai lurus dan sungai dengan tikungan. Model ini akan dialiri air dengan beberapa debit yang berbeda. Kedalaman gerusan dan kecepatan aliran yang terjadi akan diukur. Data kedalaman gerusan dan kecepatan aliran digunakan untuk menghitung gerusan maupun sedimentasi yang terjadi dengan menggunakan beberapa formula, yaitu Formula Froehlich, Laursen, Melville. Hasil dari perhitungan dari masing-masing formula tersebut dibandingkan dengan pengamatan fisik, perbedaan yang terjadi merupakan representasi prosentase kesalahan dari setiap formula yang digunakan.

Kata-kata Kunci: Sungai, *abutment*, saluran, gerusan, sedimentasi.

Abstract

An example of water resource is the river which is vital for human life. River exploitation is an environmental problem which has not been solved. This problem include river as a mean of transport, either directly using the stream flow, or using the bank as bridge foundation. One of the most important factors of the bridge is the *abutment*. The *abutment* is a structure, build at the edge of the bridge. *Abutment* is designed to hold the weight of the bridge and over the bridge. The structure of the *abutment* usually planted in to the river. The model is build as an open channel flow with *abutment* at four points of the channel, straight channel, 180 curves, straight channel between curve, and 90 curves. The purpose is to model and measure the scorching at straight and curve river flow. The model will be watered with different debits. The flow and the scorch depth will be measured. The data measured will be used to calculate scour and sedimentation using several formulas, Froehlich, Laursen, and Melville. The result from each calculation will be compared with the observation data. Error will be calculated from the differences between the calculation and observation data.

Keywords: River, *abutment*, open channel, scouring, sedimentation.

1. Anggota KK Teknik Sumber Daya Air , FTSL-ITB, Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132.
2. Mahasiswa Program Magister Teknik Sumber Daya Air , FTSL-ITB, Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132.

1. Latar Belakang

Sungai sebagai sumber daya air dan material merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Pengendalian dan pengamanan sungai sangat diperlukan dalam usaha pemanfaatannya bagi kepentingan manusia dan lingkungan sekitarnya. Sungai yang merupakan saluran terbuka ini dapat dijumpai di alam dengan beberapa macam bentuk morfologi. Perubahan morfologi sungai merupakan usaha sungai tersebut dalam mencapai keseimbangan (kestabilan).

Untuk menghubungkan kedua daerah yang terpisah oleh sungai biasanya digunakan jembatan yang sekaligus berfungsi sebagai sarana transportasi. Akan tetapi, pada jembatan dapat terjadi keruntuhan yang diakibatkan oleh berbagai kejadian, baik yang sifatnya alami maupun oleh pengaruh manusia, misalnya :

1. Erosi pada ujung bawah tebing (*toe erosion*)
2. Gerusan lokal (*scouring*), yang merupakan akibat dari perubahan morfologi sungai akibat adanya bangunan dalam usaha sungai untuk mencapai kestabilan
3. Keruntuhan massa (*mass failure*), yang diakibatkan karena beban yang dipikul jembatan melebihi batas maksimum yang telah ditentukan
4. Erosi akibat aliran bawah permukaan
5. Adanya sudetan dan avulsi
6. Adanya bencana alam, seperti gempa, erosi, banjir dan lain-lain

1.1 Kondisi lapangan

Salah satu bagian terpenting dari jembatan adalah *abutment* jembatan. *Abutment* jembatan adalah struktur di ujung-ujung jembatan yang berfungsi sebagai kaki jembatan, dalam hal ini struktur tersebut masuk ke dalam sungai. Terdapat berbagai macam jenis *abutment* yang digunakan sebagai penyalur beban jembatan. Pemilihan jenis *abutment* ditentukan dari analisis kebutuhan kekuatan, analisis ekonomi, analisis lingkungan serta analisis lainnya.

1.2 Maksud dan tujuan penelitian

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui adanya gerusan lokal yang terjadi pada daerah sekitar *abutment* jembatan saluran lurus dan tikungan saluran 90° dan 180° .
2. Membandingkan hasil perhitungan gerusan lokal yang terjadi, menggunakan metode yang sudah ada, dengan hasil pengamatan fisik terhadap gerusan lokal.
3. Mengetahui metode yang memberikan hasil paling mendekati hasil pengamatannya untuk saluran lurus, tikungan saluran, dan keseluruhan.
4. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan referensi dalam penerapannya di lapangan.

1.3 Ruang lingkup penelitian

Ruang lingkup penelitian ini mencakup pengukuran dan pengamatan :

1. Mengukur kecepatan aliran pada tiap segmen.
2. Mengukur kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada tiap segmen.

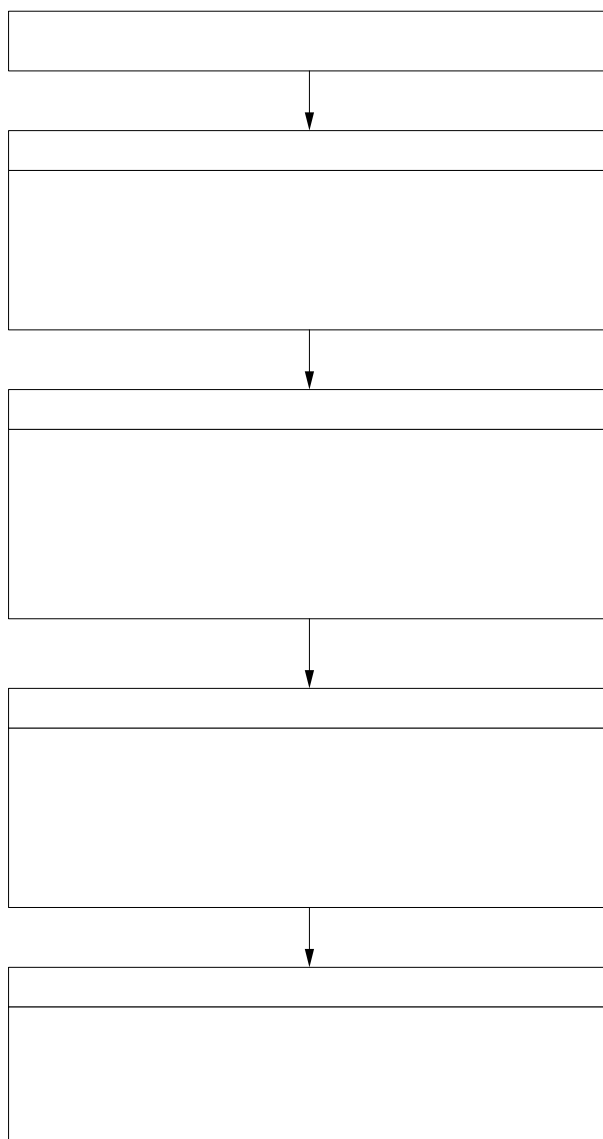


Gambar 1. Contoh *abutment* Sungai Cikapundung, lokasi Jembatan Siliwangi

3. Menghitung kedalaman gerusan lokalnya menggunakan formula yang ada dengan data kecepatan aliran yang sudah diperoleh dari pengamatan.
4. Membandingkan nilai kedalaman gerusan lokal yang didapat dari hasil perhitungan dengan nilai kedalaman gerusan lokal hasil pengamatan fisik.

1.4 Skema percobaan dan pengolahan data

1. Untuk memudahkan pembahasan, maka dibuat skema percobaan dan pengolahan data, sebagai berikut :



Gambar 2. Skema percobaan dan pengolahan data

2. Landasan Teori

2.1 Aliran air di saluran terbuka

2.1.1 Jenis aliran air

Aliran air dapat terjadi pada saluran tertutup (pipa atau *pipe flow*) maupun pada saluran terbuka. Pada saluran terbuka, aliran air akan memiliki suatu permukaan bebas yang berkaitan langsung dengan parameter – parameter aliran, seperti: kecepatan, kekentalan, gradien dan geometri saluran.

Menurut Ven Te Chow (1959), ada beberapa golongan jenis aliran air pada saluran terbuka, yaitu :

1 Aliran tunak (*steady flow*)

a. Aliran seragam (*uniform flow*)

b. Aliran berubah, meliputi :

- Aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*)
- Aliran berubah tiba – tiba (*rapidly varied flow*)

2. Aliran tak tunak (*unsteady flow*)

a. Aliran seragam (*uniform flow*)

b. Aliran berubah, meliputi :

- Aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*)
- Aliran berubah tiba – tiba (*rapidly varied flow*)

2.1.2 Perilaku aliran

Ada dua persamaan untuk membedakan perilaku aliran, yaitu persamaan bilangan Reynold dan persamaan bilangan Froude. Bilangan Reynold akan membagi aliran menjadi laminar, transisi dan turbulen, sedangkan bilangan Froude akan membagi aliran menjadi subkritis, kritis dan superkritis.

Persamaan untuk menghitung bilangan Reynold :

$$Re = \frac{U \cdot l}{\nu} \quad (1)$$

Dimana:

Re : bilangan Reynold (non dimensional)

U : kecepatan aliran (m/detik)

l : panjang karakteristik (m)

ν : viskositas kinematik (m²/detik)

han, terdiri dari model saluran terbuka, material dasar (pasir), abutment, alat ukur, dan alat bantu lainnya

- Pengukuran distribusi pasir (analisa ayak)
- Pengukuran elevasi awal pasir dalam model saluran terbuka (sebelum air dialirkan)

Perilaku aliran yang dibedakan berdasarkan atas bilangan Reynold, yaitu:

1. Aliran laminar : $Re < 2000$
2. Aliran turbulen : $2000 \leq Re \leq 4000$
3. Aliran transisi : $Re > 4000$

Persamaan untuk menghitung bilangan Froude :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (2)$$

Dimana :

Fr : bilangan Froude (non dimensional)

U : kecepatan aliran (m/detik)

g : percepatan gravitasi (m/detik²)

h : kedalaman aliran (meter)

Perilaku aliran yang dibedakan berdasarkan atas bilangan Froude, yaitu :

1. Aliran subkritis : $Fr < 1$
2. Aliran kritis : $Fr = 1$
3. Aliran superkritis : $Fr > 1$

2.2 Angkutan sedimen

2.2.1 Jenis angkutan sedimen

Jenis angkutan sedimen dalam aliran ada tiga macam, yaitu :

1. Beban material dasar (*bed load*)
2. *Wash load* atau *suspended load*
3. Beban terlarut (*dissolve load*)

2.2.2 Gerakan awal angkutan sedimen

Pergerakan awal angkutan sedimen adalah fungsi dari tegangan geser kritis (τ_{cr} , *critical shear stress*), kecepatan kritis (U_{cr} , *critical velocity*) dan gaya angkat.

Tegangan geser kritis ini ada dua macam, yaitu :

- Gaya yang bekerja (*applied forces*)
Gaya aliran dan komponen berat partikel dalam arah ke bawah dalam keadaan terendam.
- Gaya penahan (*resisting forces*)
Komponen berat partikel terendam lurus terhadap dasar dan gaya – gaya yang timbul antar partikel di sekelilingnya.

2.3 Jenis, mekanisme dan formulasi gerusan lokal (*local scouring*)

2.3.1 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*

Terjadi jika tegangan geser yang terjadi lebih besar daripada tegangan geser kritis. Pergerakan sedimen hanya terjadi pada sekitar *abutment*. Ada dua macam:

$$i. \text{ Untuk } \left(\frac{U}{U_{cr}} \right) \leq 0,5 \quad (3.a)$$

Gerusan lokal tidak terjadi dan proses transportasi sedimen tidak terjadi.

$$ii. \text{ Untuk } 0,5 \leq \left(\frac{U}{U_{cr}} \right) \leq 1,0 \quad (3.b)$$

Gerusan lokal terjadi menerus dan proses transportasi sedimen tidak terjadi

b. *Live-bed scour*

Terjadi karena adanya perpindahan sedimen. Yaitu jika

$$\left(\frac{U}{U_{cr}} \right) > 1,0 \quad (3.c)$$

Dimana:

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

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

2.3.2 Formulasi gerusan lokal

2.3.2.1 Formula Froehlich (1989)

Untuk menghitung *live-bed scour* yang terjadi pada *abutment* dapat menggunakan formula Froehlich (FHA, 2004) yang diperoleh dari hasil analisis regresi 170 data perhitungan dari percobaan laboratorium. Formula Froehlich ini adalah salah satu formula pendekatan empiris.

$$\frac{y_s}{y_a} = 2,27 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \left(\frac{L'}{y_a} \right)^{0.43} \cdot Fr^{0.61} + 1 \quad (4)$$

Dimana:

y_s : kedalaman gerusan (meter)

y_a : kedalaman aliran (meter)

K_1 : koefisien bentuk *abutment* (lihat Tabel 2.1)

K_2 : koefisien sudut *abutment* terhadap aliran
 $(\theta/90)^{0.13}$

$\theta < 90^\circ$: untuk aliran di hulu *abutment*

$\theta > 90^\circ$: untuk aliran di hilir *abutment*

Nilai θ dapat dilihat pada **Gambar 2.1**

L' : lebar *abutment* (meter)

Fr : bilangan Froude

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gy_a}} \quad (5)$$

U : kecepatan aliran (m/dt)

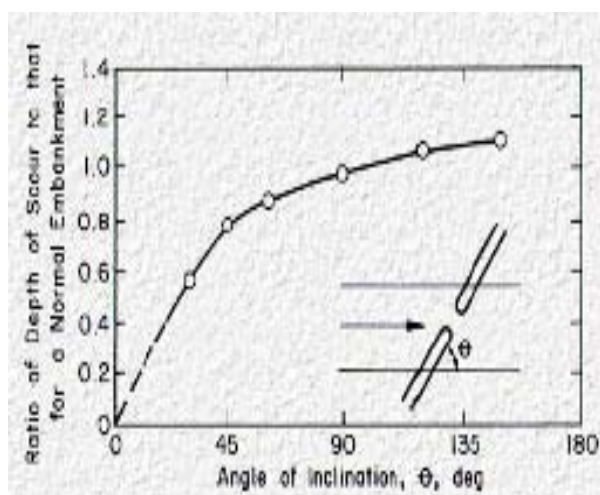
g : percepatan gravitasi = 9.81 m/s^2

y_a : kedalaman aliran (meter)

(Sumber FHA, 2004)

Tabel 1. Koefisien bentuk *abutment*

Bentuk <i>Abutment</i>	K1
Dinding vertikal	1.00
Dinding vertikal tanpa sayap	0.82
Spill-through <i>abutment</i>	0.55



Gambar 3. Faktor koreksi untuk kemiringan *abutment* terhadap aliran

2.3.2.2 Formula Laursen

Laursen (FHA, 1992) mengembangkan hubungan antara kedalaman gerusan pada *abutment* jembatan terhadap perawatan *abutment*. *Live-bed scour* hanya sebagai salah satu fungsi dari rasio panjang *abutment* terhadap kedalaman aliran, L_a / Y_a dan rasio debit per satuan lebar di daerah *overbank* aliran terhadap debit per satuan lebar di daerah gerusan. Daerah gerusan diasumsikan berupa lebar konstan dan besarnya adalah 2,75 kali kedalaman gerusan. Formula yang dihasilkan adalah:

$$\frac{L_a}{y_a} = 2,75 \frac{y_s}{y_a} \left[\frac{\left(\frac{1}{11,5} \frac{y_s}{y_a} + 1 \right)^{7/6}}{\left(\frac{\tau_1}{\tau_c} \right)^{1/2}} - 1 \right] \quad (6)$$

Dimana:

L_a : panjang *abutment* (meter)

y_a : kedalaman aliran (meter)

y_s : kedalaman maksimum gerusan (meter)

τ_1 : tegangan geser dasar saluran (kg/meter.detik²)

τ_c : tegangan kritis untuk gerak awal sedimen (kg/meter.detik²)

(Sumber FHA, 1996)

Formula di atas hanya bisa diselesaikan dengan cara iterasi. Selanjutnya, Richardson, dkk (1995), menyederhanakan formula di atas menjadi:

$$\frac{y_s}{y_a} = 1,3 \cdot \left(\frac{L'}{y_a} \right)^{0.48} \quad (7)$$

Dimana:

y_s : kedalaman maksimum gerusan (meter)

y_a : kedalaman aliran (meter)

L' : lebar *abutment* (meter)

Formula Laursen yang telah dimodifikasi tersebut bisa diselesaikan dengan cara yang lebih sederhana (EMIIP, 2000) yaitu:

$$y_s = 1,3 \cdot \left(\frac{L'}{y_a} \right)^{0.48} \cdot y_a \quad (8)$$

2.3.2.3 Formula Mellville

Mellville (FHA, 2004) menyimpulkan dari banyak hasil eksperimen pada clear water scour pada *abutment* jembatan saluran persegi dan memformulasikan kedalaman maksimum gerusan berdasarkan pendekatan empiris dari koefisien aliran, bentuk *abutment*, *alignment*, dan panjang *abutment*. Mellville juga mengklasifikasikan *abutment* menjadi:

a. Abutment panjang $\rightarrow \frac{L_a}{y} > 1$ (9.a)

b. Abutment pendek $\rightarrow \frac{L_a}{y} < 1$ (9.b)

Dimana:

L_a : panjang abutment (meter)

y : kedalaman rata-rata aliran (meter)

Selanjutnya untuk abutment sedang, perhitungan kedalaman clear water scour diformulasikan sebagai berikut:

$$y_s = 2 \cdot K_i \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot (y_a \cdot L_a)^{0,5} \quad (10)$$

Dimana:

y_s : kedalaman gerusan (meter)

K_i : faktor intensitas aliran U / U_{cr} (11)

U : kecepatan aliran (m/dt)

U_{cr} : kecepatan kritis saat sedimen akan bergerak (m/dt)

K_1 : faktor bentuk abutment

K_2 : faktor alignment abutment

(Sumber FHA, 2004)

Live-bed scour yang terjadi pada abutment juga diformulasikan oleh Melville dengan menggunakan data Dongol (1994). Ada tiga kondisi yang memungkinkan terjadi:

- Di bawah kondisi clear water scour $\rightarrow U < U_{cr}$
- Penambahan maksimum kedalaman gerusan $\rightarrow U / U_{cr} = 1$
- Kondisi live-bed scour $\rightarrow U > U_{cr}$

3. Metodologi Penelitian

3.1 Peralatan dan bahan

Saluran terbuka ini di modelkan dengan dinding fiberglass dan dasar saluran terbuat dari semen, saluran memiliki bagian lurus serta sudut tikungan 90° dan 180° . Panjang as saluran dari hulu ke hilir adalah 12,4 meter, lebar saluran 0,5 meter, tinggi saluran 0,4 meter, jari-jari tengah saluran 1,25, kemiringan saluran 0,0016. Dasar saluran diberi pasir setebal 20 cm. Debit rencana yang digunakan, yaitu :

- 0,004 m³ / detik
- 0,005 m³ / detik
- 0,006 m³ / detik
- 0,007 m³ / detik

Saluran terbagi menjadi lima bagian, dari hulu ke hilir yaitu:

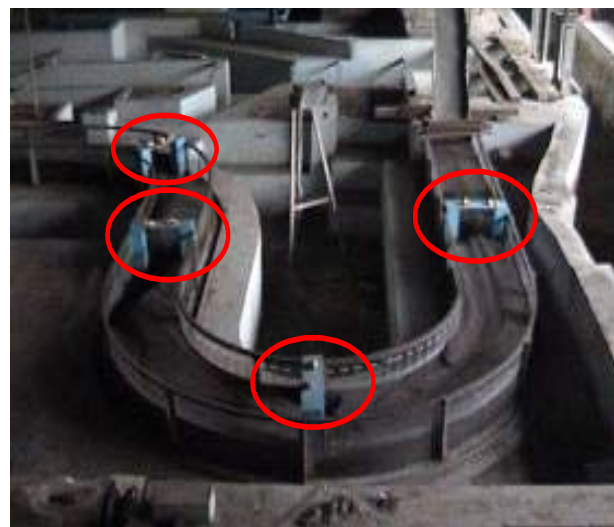
- Bagian lurus I: saluran lurus sepanjang 3 meter
- Bagian tikungan I: saluran menikung 180° dan berjari – jari as 1,25 meter
- Bagian lurus II: saluran lurus sepanjang 1,5 meter
- Bagian tikungan II: saluran menikung 90° dan berjari – jari as 1,25 meter
- Bagian lurus III: saluran lurus sepanjang 2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

Alat-alat lain yang digunakan:

- Alat ukur kecepatan (currentmeter)
- Alat ukur debit (Thomson Weir)
- Alat ukur topografi dasar saluran dan muka air
- Alat ukur berat (timbangan)
- Alat suplai air (pompa air)



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Model saluran terbuka dari fiberglass (flume) dan arah pengalirannya; (b) abutment dan penempatannya pada model saluran terbuka

1. Alat bantu:

- Formulir pencatatan data
- Kantong penangkap pasir (tepat pada bagian hilir saluran). Disiapkan dua buah, untuk dipakai secara bergantian
- Kabel listrik
- Benang dan label (untuk penggambaran kontur)
- Kamera dan alat dokumentasi lainnya

4. Analisis dan Perhitungan Data

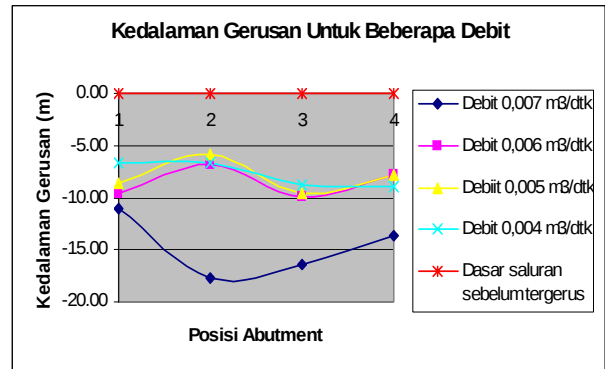
4.1 Hasil pengamatan fisik

Data-data yang telah diperoleh dari percobaan, dengan beberapa debit yang berbeda tersebut, adalah:

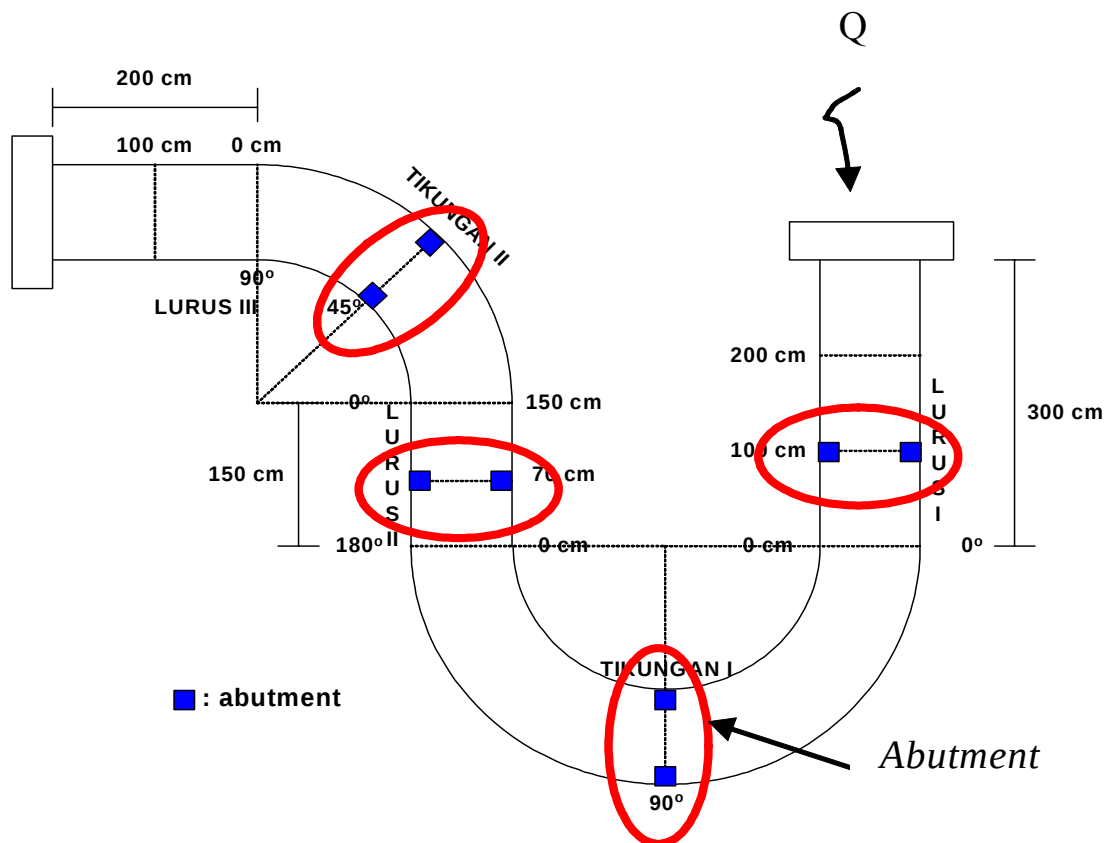
- Data kedalaman gerusan lokal
- Data elevasi topografi dasar saluran
- Data kecepatan aliran

4.2 Kedalaman gerusan lokal dan topografi dasar saluran

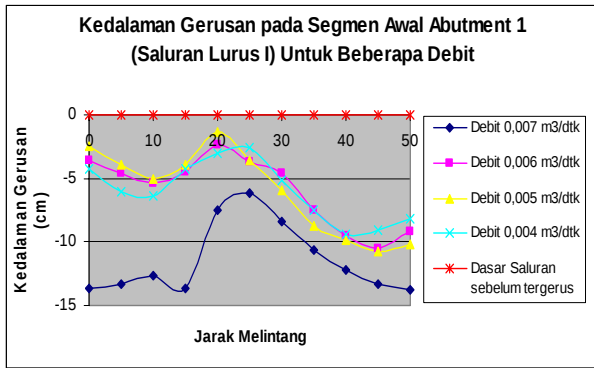
Visualisasi kedalaman gerusan diberikan untuk beberapa kondisi; di segmen awal, di tengah, dan di akhir *abutment*.



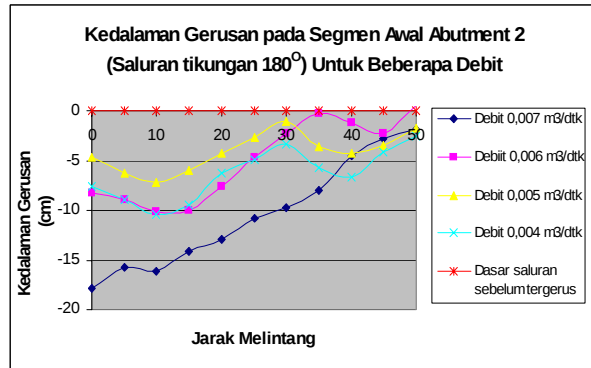
Gambar 6. Kedalaman gerusan maksimum tengah *abutment* untuk beberapa debit rencana



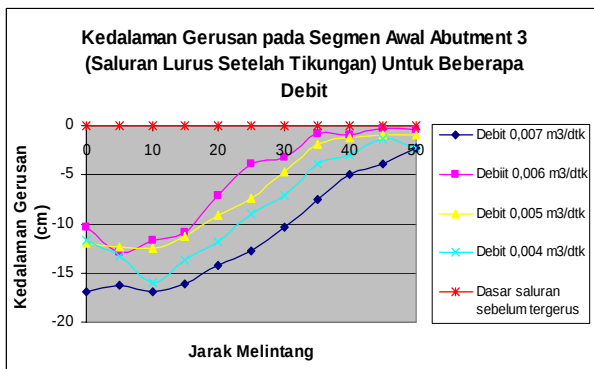
Gambar 5. Sketsa saluran dan penempatan *abutment*



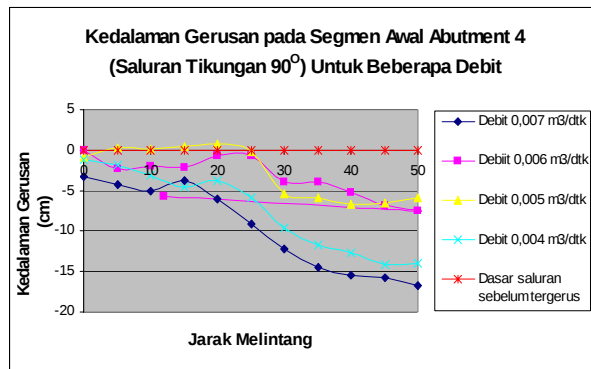
(a)



(b)

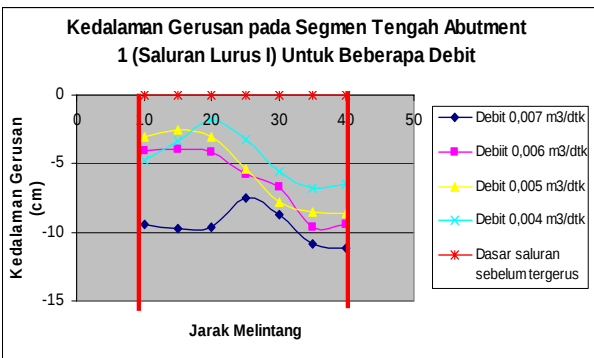


(c)

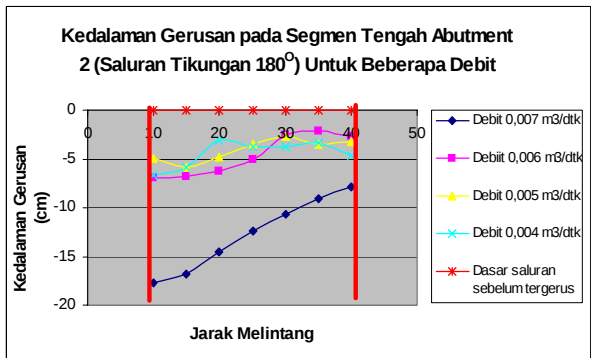


(d)

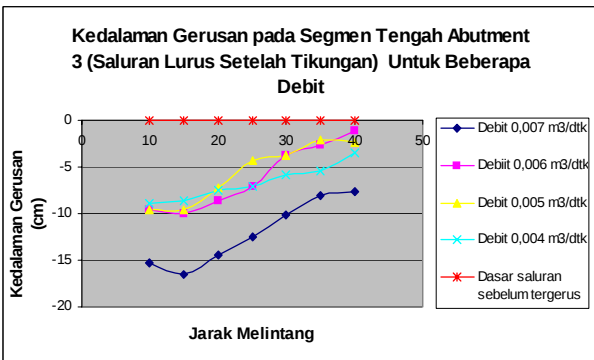
Gambar 7. Kedalaman gerusan pada segmen awal; (a) abutment 1 [saluran lurus], (b) abutment 2 [saluran tikungan 180°], (c) abutment 3 [saluran lurus setelah tikungan], (d) abutment 4 [tikungan 90°], untuk beberapa debit rencana



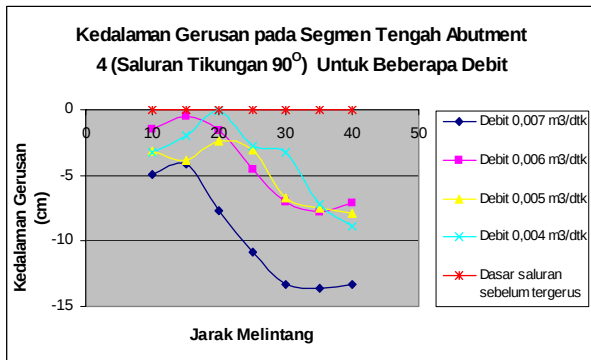
(a)



(b)

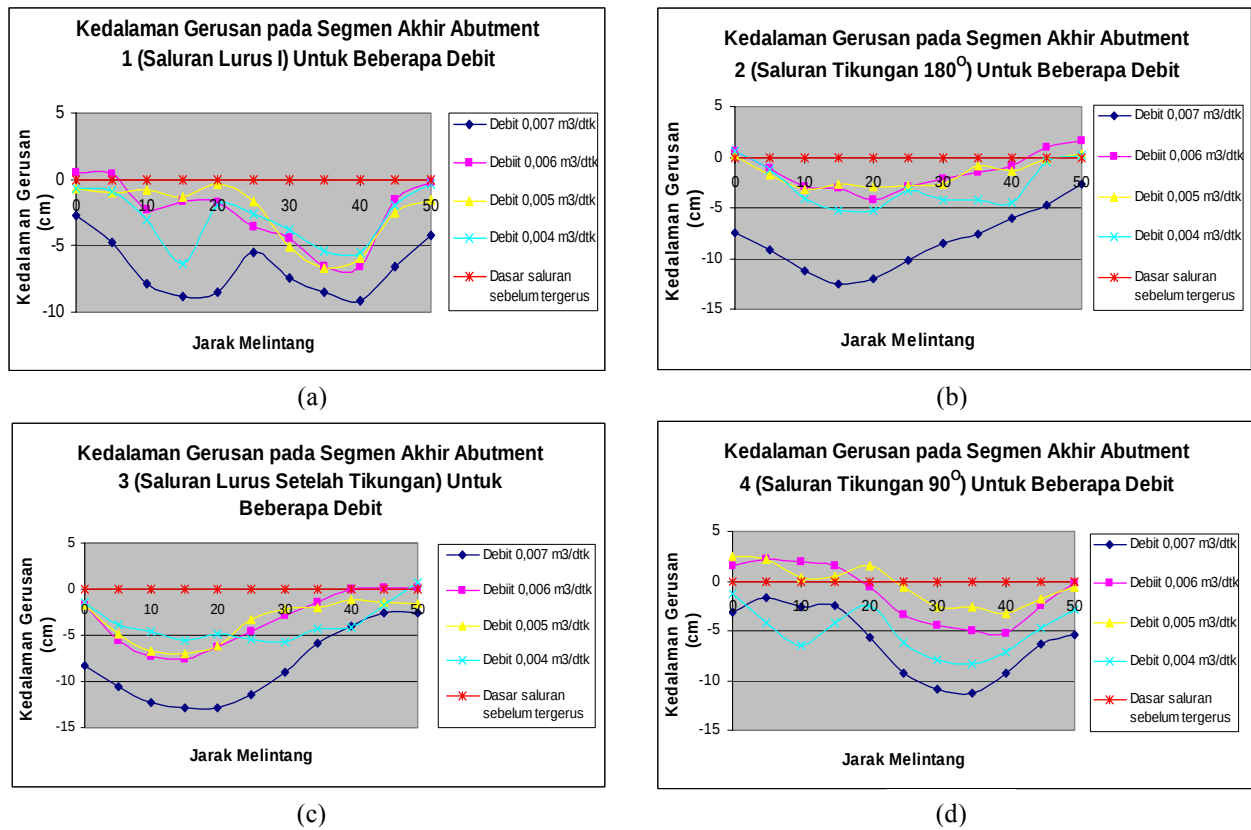


(c)

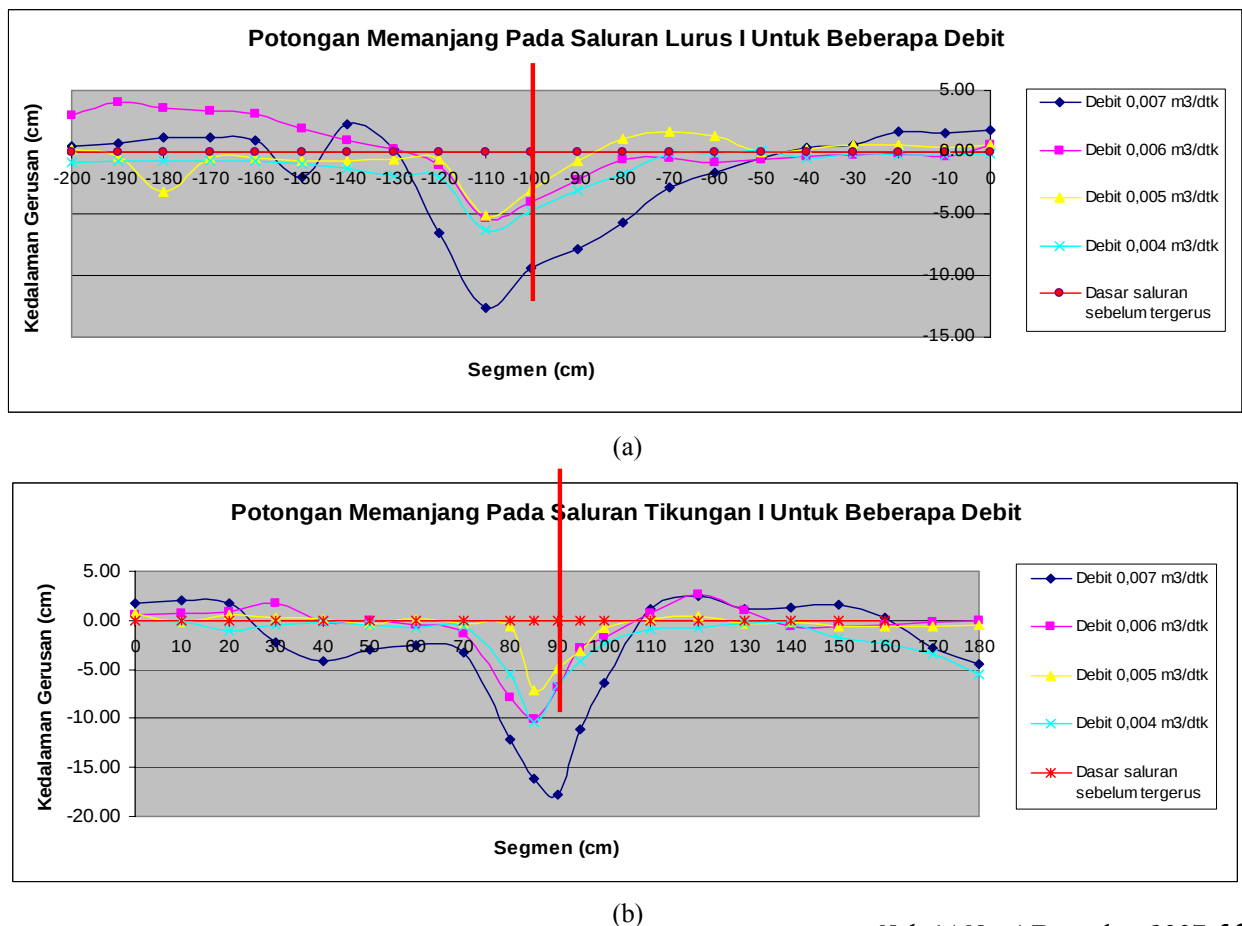


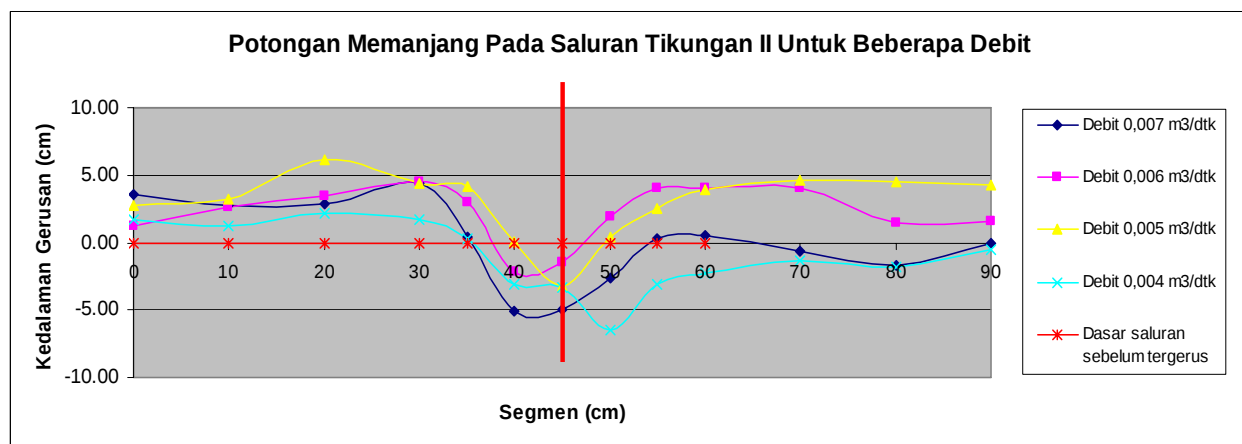
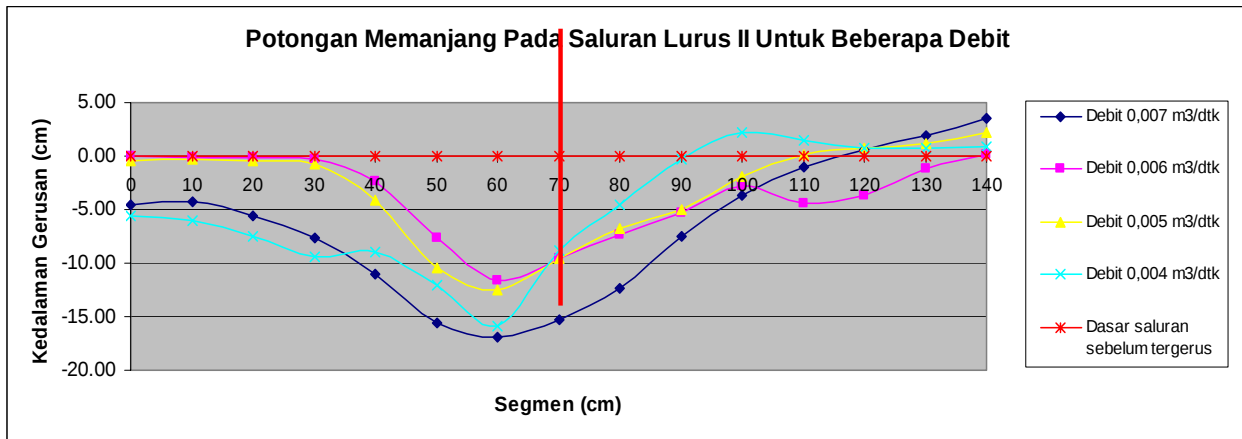
(d)

Gambar 8. Kedalaman gerusan pada segmen tengah; (a) abutment 1 [saluran lurus], (b) abutment 2 [saluran tikungan 180°], (c) abutment 3 [saluran lurus setelah tikungan], (d) abutment 4 [tikungan 90°], untuk beberapa debit rencana



Gambar 9. Kedalaman gerusan pada segmen akhir; (a) *abutment* 1 [saluran lurus], (b) *abutment* 2 [saluran tikungan 180°], (c) *abutment* 3 [saluran lurus setelah tikungan], (d) *abutment* 4 [tikungan 90°], untuk beberapa debit rencana





Gambar 10. Kedalaman gerusan pada sumbu saluran; (a) segmen saluran lurus i, (b) segmen saluran tikungan 180°, (c) segmen saluran tikungan 90°, untuk beberapa debit rencana

Keterangan : | adalah posisi abutment



(a)



(b)



(c)



(d)

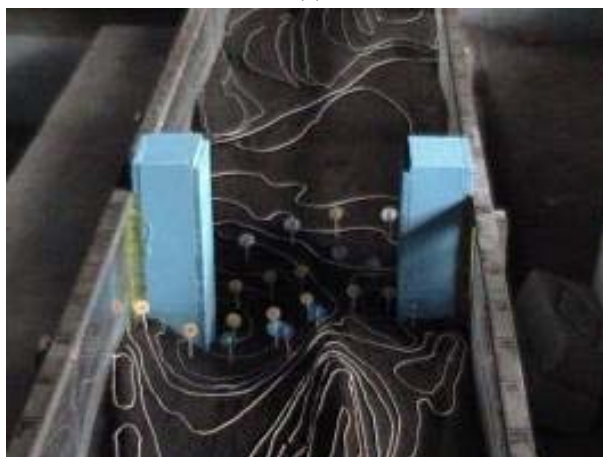
Gambar 11. Bentuk topografi dasar saluran setelah dialiri debit rencana $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$; (a) saluran lurus pertama, (b) tikungan 180° , (c) saluran lurus kedua, (d) tikungan 90°



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 12. Bentuk topografi dasar saluran setelah dialiri debit rencana $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$; (a) saluran lurus pertama, (b) tikungan 180° , (c) saluran lurus kedua, (d) tikungan 90°



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 13. Bentuk topografi dasar saluran setelah dialiri debit rencana $7.10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$; (a) saluran lurus pertama, (b) tikungan 180°, (c) saluran lurus kedua, (d) tikungan 90°

Formula yang digunakan sebagai pembanding hasil pengamatan dengan hasil perhitungan adalah:

1. Formula Froehlich

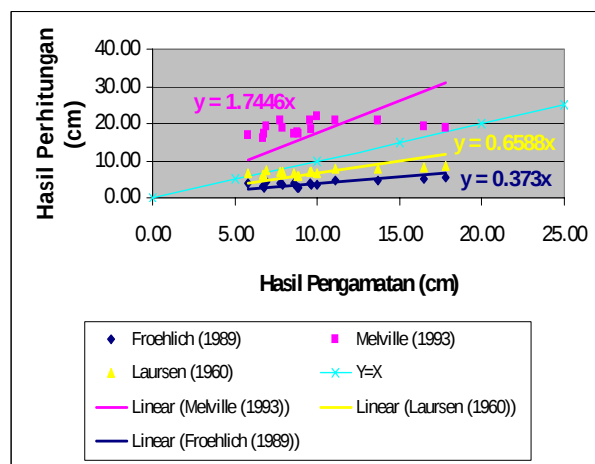
$$\frac{y_s}{y_a} = 2,27 K_1 K_2 \left(\frac{L'}{y_a} \right)^{0,43} Fr^{0,61} + 1 \quad (12.a)$$

2. Formula Laursen

$$\frac{y_s}{y_a} = 1,3 \left(\frac{L'}{y_a} \right)^{0,48} \quad (12.b)$$

3. Mellville

$$y_s = 2.K_i.K_1.K_2.(y_a.L_a)^{0,5} \quad (12.c)$$



Gambar 14. Kedalaman gerusan dengan beberapa metode

Dari gambar 4.10 dapat diperoleh hubungan sebagai berikut:

- Formula Froehlich (1989)

$$y_{\text{perhitungan}} = 0,373 \cdot y_{\text{pengamatan}} \quad (13.a)$$

- Formula Laursen (1960)

$$y_{\text{perhitungan}} = 0,6588 \cdot y_{\text{pengamatan}} \quad (13.b)$$

- Formula Melville (1993)

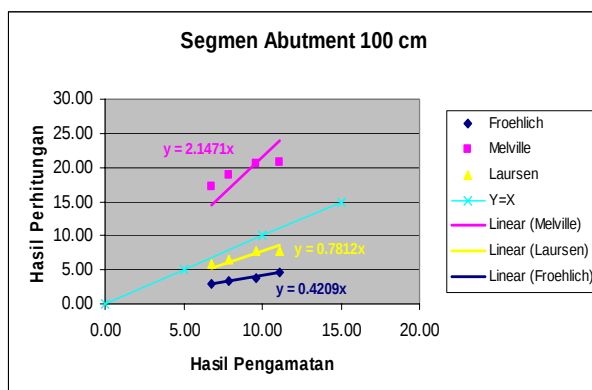
$$y_{\text{perhitungan}} = 1,7446 \cdot y_{\text{pengamatan}} \quad (13.c)$$

Penyimpangan dari perbandingan hasil perhitungan dengan hasil pengamatan menjelaskan beberapa hal:

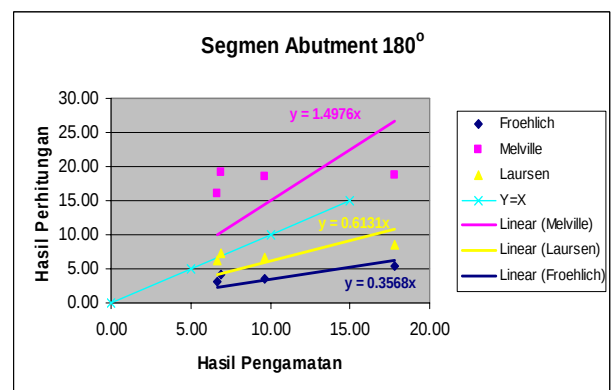
1. Perbedaan alat percobaan yang dilakukan oleh Laursen di laboratoriumnya dan percobaan yang dilakukan penulis di Lab Uji Model Hidrolika.
2. Perbedaan material yang digunakan dalam percobaan yang dilakukan Laursen dan penulis.
3. Perbedaan parameter-parameter fisik (misal suhu ruangan dan suhu fluida).

Meskipun Melville mengembangkan formulanya dengan menggunakan faktor koreksi paling banyak, namun itu tidak menjamin akurasi perhitungan metode Melville dibandingkan dengan metode lainnya. Hal yang paling menentukan di sini adalah kesamaan kondisi penelitian, termasuk di dalamnya alat-alat praktikum, kondisi lingkungan, material, dan lain-lain.

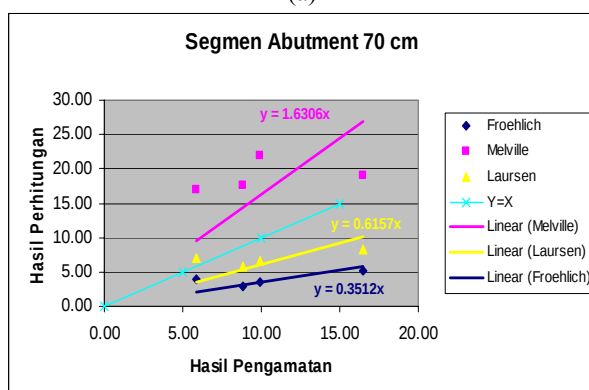
Dari hasil grafik di atas, dapat disimpulkan untuk kondisi saluran lurus, tikungan 180°, saluran lurus setelah tikungan, dan tikungan 90°, metode Laursen merupakan yang paling akurat dibandingkan dengan metode lain. Hal ini disebabkan formula Laursen di atas diciptakan khusus untuk perhitungan kedalaman gerusan pada kondisi *live-bed scour* Laursen menciptakan pula formula untuk kondisi *clear water scour*). Meskipun demikian adanya dengan formula Froehlich namun di sini, dari kedua formula tersebut, hanya formula Laursen yang merupakan hasil modifikasi dengan memperhitungkan parameter tegangan geser. Karena itu dalam kasus penelitian ini, penulis menduga tegangan geser adalah parameter yang mendominasi akurasi perhitungan dibandingkan dengan parameter-parameter formula yang lain.



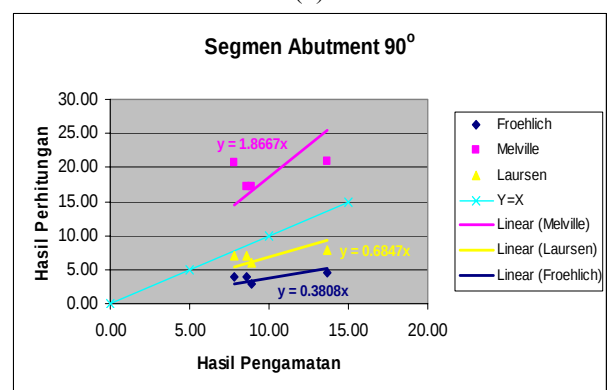
(a)



(b)



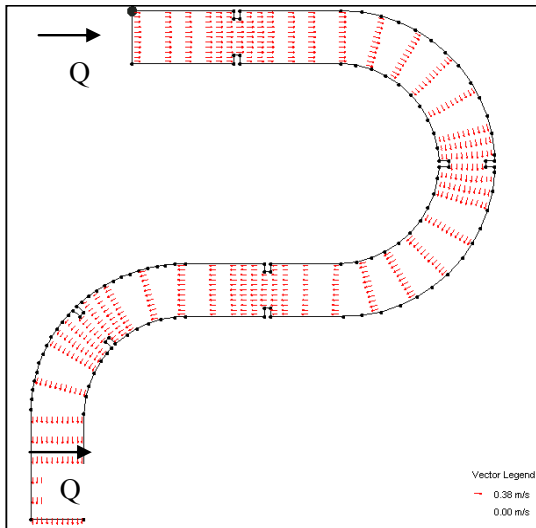
(c)



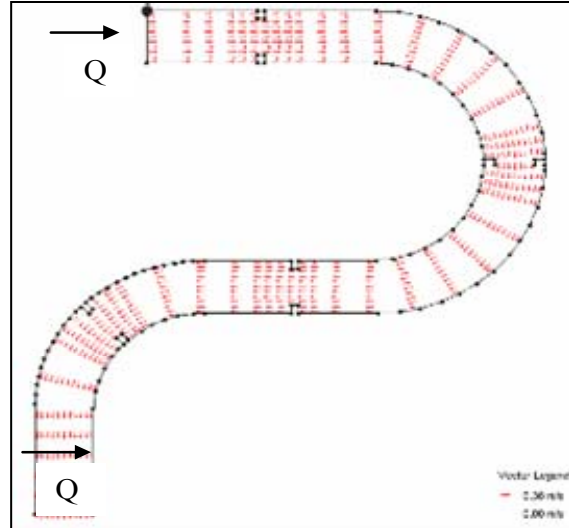
(d)

Gambar 15. Perbandingan hasil pengamatan dan perhitungan untuk segmen saluran; (a) saluran lurus i, (b) saluran tikungan 180°, (c) saluran lurus ii, (d) saluran tikungan 90°

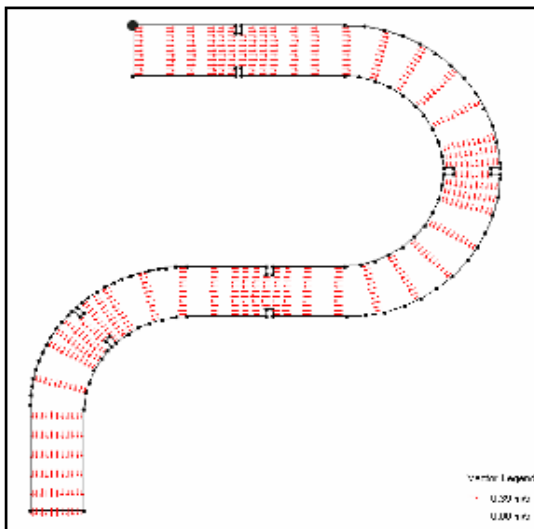
4.3 Distribusi kecepatan aliran



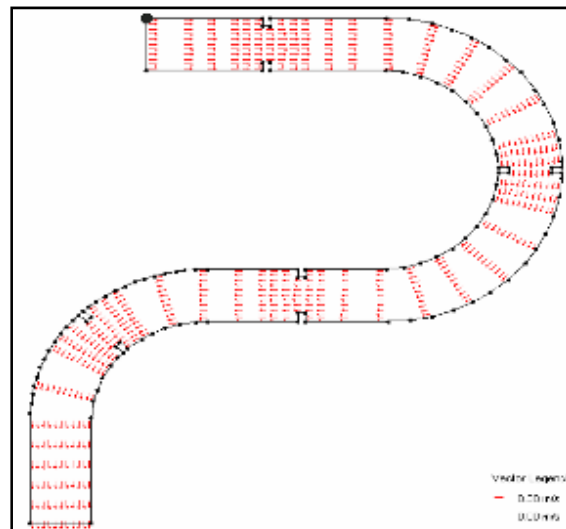
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 16. Gambar distribusi kecepatan sepanjang saluran; (a) debit rencana $4.10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$, (b) debit rencana $5.10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$, (c) debit rencana $6.10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$, (d) debit rencana $7.10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$

1. Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh dari alat pengukur kecepatan, *currentmeter*, dapat ditarik kesimpulan bahwa distribusi kecepatan di tengah *abutment* relatif menjadi lebih besar bila dibandingkan dengan distribusi kecepatan sebelum dan sesudahnya. Hal ini dikarenakan faktor kontraksi (penyempitan) yang terjadi akibat adanya *abutment*.
2. Aliran setelah *abutment* relatif mengalami penurunan distribusi kecepatan. Hal ini dikarenakan penampang saluran setelah melewati *abutment* mengalami pelebaran (ekspansi). Dengan mengacu pada debit dan penampang saluran yang sama (sebelum dan sesudah *abutment*), maka logikanya kecepatan yang dihasilkan pun akan relatif sama.
3. Untuk saluran menikung, distribusi kecepatan mengalami kenaikan pada bagian luar tikungan. Hal ini mengakibatkan, di sisi luar tikungan terjadi gerusan yang relatif lebih besar dibanding dengan bagian dalam saluran. Sebaliknya, karena distribusi kecepatan di bagian dalam saluran relatif lebih kecil maka di sanalah kuantifikasi sedimentasi menjadi lebih besar.

5. Kesimpulan

1. Hasil perhitungan dengan menggunakan tiga metode yang berbeda, akan memberikan hasil yang berbeda pula dengan setiap hasil perhitungan gerusan lokal hasil pengamatan fisik.
2. Urutan ketidaktepatan hasil perhitungan tersebut, yaitu :
 - a. Metode Mellville: dengan prosentase kesalahan 127,36%
 - b. Metode Froehlich: dengan prosentase kesalahan 56,98%
 - c. Metode Laursen: dengan prosentase kesalahan 20,02%.
3. Dari ketiga perhitungan tersebut, hasil perhitungan yang paling mendekati hasil pengamatan atau yang memiliki tingkat kesalahan terkecil terhadap hasil pengamatan yaitu hasil perhitungan menurut metode Laursen.
4. Metode Laursen memiliki tingkat kesalahan terkecil, sebab :
 - a. Spesifikasi pengembangan metode Laursen relatif lebih jelas dibanding metode Froehlich dan Mellville. Laursen membedakan formula untuk kondisi *live-bed scour* dan *clear water*

scour. Berbeda halnya dengan Froelich dan Mellville yang mengembangkan formulanya untuk kedua kondisi.

- b. Laursen memasukkan parameter tegangan geser pada formula asli yang akhirnya dikembangkan oleh Richardso, dkk. Dari perhitungan sebelumnya, dengan membandingkan akurasi ketiga metode itu, penulis menduga tegangan geser adalah parameter yang lebih dominan dibandingkan koefisien bentuk *abutment* dan sudut *abutment* terhadap aliran pada formula Froehlich dan Mellville serta faktor intensitas aliran pada formula Mellville. Kebenaran dari asumsi ini perlu dibuktikan lagi pada penelitian selanjutnya.
5. Apabila dilakukan analisis untuk setiap segmen saluran, maka tingkat kesalahan terkecil untuk setiap segmen saluran adalah metode Laursen.
 6. Pada percobaan ini, data yang memiliki validitas tinggi adalah data topografi dasar saluran dan besar kedalaman gerusan lokal. Sedangkan data kecepatan aliran memiliki validitas yang lebih rendah.
 7. Turbulensi aliran menjadi lebih besar pada segmen tepat sebelum *abutment*. Hal inilah yang mengakibatkan kedalaman gerusan pada segmen awal *abutment* relatif paling besar dibanding pada segmen lain.
 8. Distribusi kecepatan relatif membesar pada bagian tengah *abutment*. Hal ini diakibatkan adanya kontraksi (penyempitan) saluran karena proyeksi lengan *abutment*.

Daftar Pustaka

- Asmat, R. Junaedi, 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.
- Egon, Andi dan Deasilia Indrasari, 2005, "*Perhitungan Kedalaman Gerusan dengan Adanya Pilar Silinder di Saluran Lurus dan Tikungan Saluran (Kajian Laboratorium)*", Tugas Akhir, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknis Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung
- EMIIP, Fischenich, Craig and Mark Landers, 2000, "*Computing Scour*".

- Federal Highway Administration, US Department of Transportation, 2004, "*Enhanced Abutment Scour Studies for Compound Channels*", Publication No. FHWA-RD-99-156, National Highway Institute.
- Federal Highway Administration, US Department of Transportation, 1996, "*Bottomless Culverts Scour Study*", Mid West Hydraulics Conference, Presentation by: J. Sterling Jones
- Landers, Mark N., et. al., 1996, "*Bridge-Scour Data Management System User's Manual*", Federal Highway Administration, Virginia
- May, R. W. P., et. al., 2002, "*Manual on Scour at Bridges and Other Any Structures*", London.
- Parr, A. David and Andrew Smith, 2000, "*HEC-RAS 2.2 for Backwater and Scour Analysis-Phase One*", Report No. K-TRAN: KU-00-9 Interim Report, The University of Kansas.
- Richardson, E.V and S.R. Davis, 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.
- Streeter, Victor L., 1999, "*Mekanika Fluida*", Edisi Delapan, Jilid 1, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ted Yang, Chih, 1996, "*Sediment Transport: Theory and Practice*", The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Ven Te Chow, 1997, "*Hidrolika Saluran Terbuka*", Cetakan Keempat, Jakarta: Penerbit Erlangga.