

**ANALISIS BENTUK PILAR JEMBATAN TERHADAP
POTENSI GERUSAN LOKAL
(Model Pilar Berpenampang Bujur Sangkar, Bulat dan Jajaran Genjang)**

Oleh:
Anton Ariyanto

Abstract

Pilar is a structure under the bridge. The presence of pillars in river flow cause changes in river flow patterns. These changes include the formation of down flow (downward flow) and Horseshoe vortex (horseshoe vortex) around the pillar. Changes in flow pattern will result in local scour around the pillar. Local scour is going on around the pillar causes the river bottom around the pillar so that the water flow transported formed scour hole. Scour hole is formed can destabilize the pillar. Stability is very important pillar in the forwarding function of vehicle load to the foundation. This study aims to determine the maximum scour depth value of each form the pillars for any changes debit. Penelitian is done on a permanent uniform flow conditions (steady uniform flow) with three variations of flow rates that occur within the capacity of the appliance Multy-purpose teaching flume.

Channel basic material (sand) which is filtered and passed sieve no. 20 and detained sieve no. 40 channel width (B) = 10 cm and the slope of the channel is not taken into account. The physical model used is the pillar pillars with cross-sectional shape of square, round and of a parallelogram. The results of this research is the circuit with a flow rate $Q_1 = 361 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ maximum scour occurs for (ds) = 2.03 cm for the pillar with the shape of a parallelogram, (ds) = 1.7 cm for the pillars with square shape cage and (ds) = 1.53 cm for the pillar with a round shape, $Q_2 = 848 \text{ cm}^3/\text{dtk}$, (ds) = 2.87 cm for the pillar with the shape of a parallelogram, (ds) = 2.8 cm columns with square shape cage and (ds) = 2.33 cm for the pillar with a round shape, $Q_3 = 1087 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ (ds) = 3.0 centimeters to the pillars with the shape of a parallelogram, (ds) = 3.0 centimeters to the pillars with square shape cage (ds) = 3.0 centimeters to the pillars with a round shape. The bigger the discharge that flows in a channel cross section, the local scour around the pillar will also be getting in and form a round pillar is the best because it has the smallest potential scour depth.

Keywords: *down flow, horseshoe vortex, steady uniform flow*

1. PENDAHULUAN

Gerusan adalah fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air yang biasanya terjadi pada dasar sungai yang terdiri dari material *alluvial* namun terkadang dapat juga terjadi pada dasar sungai yang keras. Pengalaman menunjukkan bahwa gerusan dapat menyebabkan terkikisnya tanah di sekitar fondasi dari sebuah bangunan pada aliran air. Gerusan biasanya terjadi sebagai bagian dari perubahan morfologi dari sungai dan perubahan akibat bangunan buatan manusia.

Proses erosi dan deposisi di sungai pada umumnya terjadi karena adanya perubahan pola aliran, terutama pada sungai *alluvial*. Perubahan pola aliran dapat terjadi karena adanya rintangan atau halangan pada aliran

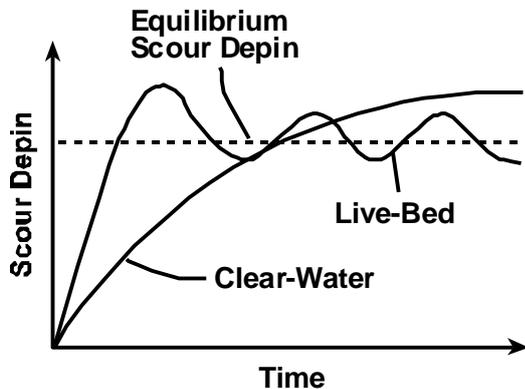
sungai tersebut yaitu berupa bangunan sungai misal: pangkal jembatan, krib sungai, *revetment*, dan sebagainya. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur serta pola aliran, yang selanjutnya diikuti dengan timbulnya gerusan lokal di sekitar bangunan (Istiarto, 2002)

Peristiwa gerusan lokal selalu akan berkaitan erat dengan fenomena perilaku aliran sungai, yaitu hidraulika aliran sungai dalam interaksinya dengan geometri sungai, geometri dan tata letak pilar jembatan, serta karakteristik tanah dasar di mana pilar tersebut dibangun (Istiarto, 2002)

Menurut Ettema dan Raudkivi (1982) dalam Istiarto (2002), perbedaan gerusan dapat dibagi menjadi:

- a. Gerusan umum (*general scour*). Gerusan yang terjadi akibat dari proses alam dan tidak berkaitan sama sekali dengan ada tidaknya bangunan sungai.
- b. Gerusan dilokalisir (*constriction scour*). Gerusan yang diakibatkan penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi terpusat.
- c. Gerusan lokal (*local scour*). Merupakan akibat langsung dari struktur pada alur sungai.

Peristiwa ketiga jenis gerusan tersebut dapat terjadi bersamaan namun pada tempat yang berbeda. Gerusan dilokalisir di alur sungai dan gerusan lokal di sekitar bangunan, Selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersih (*clear water scour*) maupun gerusan dengan air bersedimen (*live-bed scour*). Gerusan dengan air bersih berkaitan dengan suatu keadaan dimana dasar sungai di sebelah hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada material yang terangkut), atau secara teoritik ($t_0 < t_c$) dimana t_0 adalah tegangan geser yang terjadi, sedangkan t_c adalah tegangan geser kritik dari butiran dasar sungai. Perbedaan prinsipil antara gerusan oleh air bersih dibandingkan dengan air bersedimen adalah mengikuti skema seperti disajikan pada Gambar 1



Gambar 1 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu. (Sumber: Istiarto, 2002)

Gerusan berarti bahaya yang ditimbulkan oleh erosi terhadap saluran dasar bawah pada tingkat normal atau sesuai faktor,

kecenderungan yang dihadapi atau pengikisan fondasi yang tersembunyi. Kedalaman gerusan mengarah pada kedalaman material yang terkikis di bawah keadaan penggerusan dalam mengarah pada kedalaman air di atas penggerusan dasar di bawah keadaan kondisi aliran. Jembatan penyebrangan dalam hal ini mengarah pada tidak terkontrol dimana keterbatasan atau perubahan aliran normal tidak signifikan yang dibeban oleh gerakan jembatan atau persiapan pekerjaan. Semua kasus lainnya yang mengarah pada saluran terbuka yang dikontrol. Perhitungan terhadap kemungkinan harus diambil yang pada awalnya jembatan penyebrangan yang tidak terkontrol yang kemudian menjadi terkontrol sebagai hasil dari perubahan saluran (Neil, 1973).

Kedalaman dan area gerusan pada jembatan dipengaruhi oleh sebagian maupun keseluruhan faktor-faktor berikut ini:

1. Kemiringan, garis lurus normal (*natural alignment*) dan perubahan saluran.
2. Jenis dan sejumlah material dasar yang diangkut.
3. Debit aliran (Q).
Semakin tinggi debit yang mengalir melewati pilar tersebut, maka kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar pilar itu akan semakin besar pula. Keadaan ini diakibatkan karena meningkatnya kecepatan geser dan tegangan geser pada saluran.
4. Keterbatasan atau perubahan aliran yang melalui jembatan dan saluran.
5. Geometri dan garis lurus normal pilar.
6. Perubahan alami atau perubahan aliran buatan manusia atau struktur sedimen.
7. Kecelakaan, seperti runtuhnya struktur.

Triatmodjo (1995), aliran mantap (*steady flow*) terjadi jika variabel dari aliran seperti kecepatan v , tekanan p , rapat massa ρ , tampang aliran A , debit Q , kedalaman h disembarang titik pada zat cair tidak berubah dengan waktu. Keadaan ini dapat dinyatakan dalam bentuk matematis:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial h}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial Q}{\partial t} = 0; \dots\dots\dots (1)$$

Apabila variabel seperti kecepatan v , tekanan p , rapat massa ρ , tampang aliran A , debit Q , kedalaman h disebarkan titik pada zat cair berubah dengan waktu, aliran itu adalah aliran tak mantap (*unsteady flow*). Sedangkan aliran seragam (*uniform flow*)

$$\frac{\partial v}{\partial s} = 0; \frac{\partial p}{\partial s} = 0; \frac{\partial \rho}{\partial s} = 0; \frac{\partial h}{\partial s} = 0; \frac{\partial Q}{\partial s} = 0; \dots\dots\dots (2)$$

Aliran seragam mempunyai ciri yaitu garis energi, muka air dan dasar saluran saling sejajar. Sebaliknya bila tidak sejajar aliran itu adalah aliran tidak seragam (*non-uniform flow*).

Menurut persamaan Kontinuitas, suatu debit tertentu Q , yang mempunyai kecepatan v , melewati suatu penampang saluran dengan kedalaman aliran h , dan lebar saluran B , dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$v = \frac{Q}{B * h} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

- v = Kecepatan aliran (m/dtk)
- B = Lebar saluran (m)
- h = Kedalaman aliran (m)
- Q = Debit aliran (m³/dtk)

Luas tampang saluran dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A = B * h \dots\dots\dots(4)$$

dengan :

- A = Luas tampang saluran (m²)
- B = Lebar saluran (m)
- h = Kedalaman aliran (m)

keliling tampang basah saluran dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$K = 2h + B \dots\dots\dots (5)$$

dengan :

- K = Keliling tampang basah saluran (m)
- h = kedalaman aliran (m)
- B = Lebar saluran (m)

Radius hidrolis saluran dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{A}{K} \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

- R = Radius hidraulik (m)
- A = Luas saluran (m²)

adalah aliran dimana, variabel dari aliran seperti kecepatan v , tekanan p , rapat massa ρ , tampang aliran A , debit Q , kedalaman h dari satu titik ke titik yang lain di sepanjang aliran tidak berubah dengan jarak.

K = Keliling basah (m)

Tingkat kekritisian aliran dapat di tentukan dengan mencari bilangan *Froude*, dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = \frac{v}{\sqrt{g * h}} \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

- F = Angka Froude
- h = kedalaman Aliran

dimana jika:

- $F < 1,0$ disebut aliran *sub kritik*
- $F = 1$ disebut aliran kritik
- $F > 1,0$ disebut aliran *super kritik*

Interaksi antara aliran di sekitar pilar jembatan dengan dasar sungai di sekitar pilar adalah sangat kompleks. Gerusan yang terjadi di sekitar pilar adalah akibat sistem pusaran (*Vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi pilar tersebut. Aliran mendekati pilar dan tekanan stagnasi akan menurun dan menyebabkan aliran kebawah (*down flow*) yaitu aliran dari kecepatan tinggi menjadi kecepatan rendah. Kekuatan *down flow* akan mencapai maksimum ketika berada tepat pada dasar saluran.

Komponen aliran vertikal menjadi penyebab permulaan terjadinya gerusan. Karena tekanan stagnasi di depan pilar, permukaan air meningkat dan membentuk *bow wave* (peningkatan permukaan aliran). Kemudian *horseshoe vortex* (pusaran tapal kuda) berkembang sebagai akibat dari pemisahan aliran di hilir lingkaran lubang gerusan yang tergerus oleh *down flow*. *Horseshoe vortex* merupakan konsekuensi dari gerusan, bukan penyebabnya, walaupun horseshoe vortex sangat efektif dalam pemindahan material keluar dari lubang gerusan. *Horseshoe vortex* memanjang kearah hilir lubang gerusan, melewati sisi samping

pilar. Aliran memisah di sisi samping pilar dan membentuk system *wake vortex* (aliran pusaran di samping pilar). Intensitas turbulensi bertambah, konsekuensinya gerusan dan angkutan sedimen meningkat.

Proses gerusan dimulai pada saat partikel yang terbawa bergerak mengikuti pola aliran dari bagian hulu ke bagian hilir saluran. Pada kecepatan yang lebih tinggi maka partikel yang terbawa akan semakin banyak dan lubang gerusan akan semakin besar baik ukuran maupun kedalamannya. Bentuk geometri pilar sangat berpengaruh besar pada kedalaman gerusan karena pilar memantulkan kekuatan dari *horseshoe vortex* (pusaran tapal kuda) pada bagian dasar pilar. Saat kondisi *clear water scour* dengan bertambahnya kecepatan maka kedalaman gerusan yang terjadi menjadi lebih dalam.

Model pilar yang digunakan disesuaikan dengan model pilar yang digunakan untuk pilar jembatan di lapangan tetapi dimensi pilar yang kita gunakan tidak dibandingkan dengan pilar yang ada di lapangan (yang sesungguhnya). Ukuran dimensi pilar yang di gunakan di Laboratorium disesuaikan dengan keadaan saluran (*flume*) dan mempertimbangkan keseimbangan antara ukuran dimensi pilar dan ukuran butiran material dasar saluran. Penggunaan pilar pada dasarnya hanya untuk mendapatkan proses gerusan dan nilai kedalaman gerusan dari setiap bentuk pilar karena keberadaan pada alur saluran (*flume*).

Kedalaman gerusan lokal pada pilar dipengaruhi oleh keadaan geometri dan juga dipengaruhi oleh tata letak konstruksi pilar jembatan terhadap arah aliran. Pilar yang sejajar dengan arah aliran yang datang proses gerusan terjadi pada depan dan belakang pilar. Gerusan maksimum terjadi di depan pilar.

Analisis regresi adalah metode statistik yang dapat digunakan untuk mempelajari hubungan antara dua atau lebih peubah yang sedang diselidiki. Persamaan matematika yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel disebut persamaan regresi. Persamaan regresi logaritmik merupakan pola grafik gerusan dengan kondisi *clear water scour* (tanpa angkutan sedimen pada lubang gerusan).

2. METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

1. Bahan

Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah material alam dan air.

a. Material Alam

Material alam yang digunakan adalah pasir. Pasir harus sekecil mungkin bersih dari campuran tanah kemudian diayak dengan ayakan no.20 dan no.40. Pasir yang dipakai adalah pasir yang lolos saringan no.20 dan yang tertahan disaringan no. 40.

b. Air

Air yang digunakan tersedia di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidraulika Jurusan Teknik Sipil

2. Alat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidraulika Jurusan Teknik Sipil. Dengan peralatan sebagai berikut:

a. *Multy Purpose Teaching Flume*

Merupakan suatu model saluran terbuka dengan dinding tembus pandang yang diletakkan pada struktur rangka kaku. Dasar saluran ini dapat dirubah kemiringannya dengan menggunakan *jack hidraulik* yang dapat mengukur kemiringan dasar saluran tersebut secara akurat sesuai dengan yang kita kehendaki. Terpasangnya rel pada atas saluran tersebut memungkinkan alat ukur kedalaman (*point gauge*) dan tabung pilot dapat di geser-geser sepanjang saluran.

Saluran ini juga dilengkapi dengan kran tekanan udara dan pada titik-titik tertentu terdapat lubang untuk pemasangan model-model bangunan air. Saluran ini dilengkapi pula dengan tangki pelayanan berikut pompa sirkulasi air, dan alat pengukur debit.

b. *Stopwatch*

Alat ini digunakan untuk mengukur selang waktu yang ditentukan pada pengukuran kedalaman gerusan selama percobaan.

c. *Point Gauge*

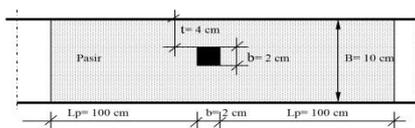
Alat ini digunakan untuk mengukur elevasi dasar saluran dan tinggi muka air.

d. Pita ukur

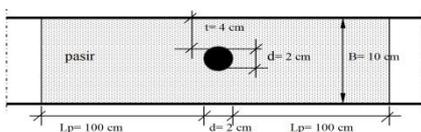
Alat ini digunakan untuk mengukur tinggi material dasar, panjang dan kedalaman gerusan pada *flume* di sekitar pilar.

e. Model Pilar

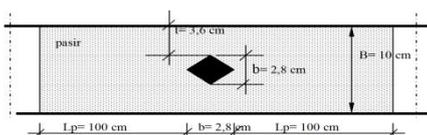
Model pilar terbuat dari kayu bengkirai dengan berbagai bentuk dan ukuran model pilar yang digunakan adalah pilar dengan bentuk penampang bujur sangkar dengan tebal 2 cm dan lebar 2 cm, pilar dengan bentuk penampang bulat dengan diameter 2 cm dan pilar dengan bentuk penampang bujur sangkar dengan tebal 2 cm dan lebar 2 cm dipasang membentuk sudut 45^0 (jajaran genjang).



Gambar 2. Model pilar tampang bujur sangkar.



Gambar 3 Model pilar tampang bulat.



Gambar 4. Model pilar tampang jajaran genjang.

f. Saringan Pasir

Alat ini digunakan untuk mengayak pasir (material dasar) agar diperoleh ukuran butiran yang dikehendaki. Dalam penelitian ini digunakan ayakan no.20 dan no.40.

g. Peluap segitiga (sudut 90^0)

Alat ini digunakan untuk mengukur debit yang mengalir pada saluran (*flume*).

h. Gabus

Alat ini merupakan alat Bantu yang digunakan untuk menyangga pilar agar tetap berdiri tegak

B. Persiapan pelaksanaan penelitian

- Pembuatan miniatur pilar yang terbuat dari kayu bengkirai dengan bentuk dan ukuran model pilar yang digunakan adalah pilar dengan bentuk penampang bujur sangkar dengan tebal 2 cm dan lebar 2 cm, pilar dengan bentuk penampang bulat dengan diameter 2 cm dan pilar dengan bentuk penampang bujur sangkar dengan tebal 2 cm dan lebar 2 cm dipasang membentuk sudut 45^0 (jajaran genjang).
- Menyiapkan material dasar (pasir) yang lolos saringan no.20 (diameter lubang ayakan 0,85 mm) dan tertahan saringan no.40 (diameter lubang ayakan 0,425 mm).
- Material dasar disebarakan disepanjang *flume* dengan tebal 3 cm dan lebar saluran 10 cm.
- Melakukan pengecekan terhadap peralatan yang digunakan dalam penelitian, apakah kondisi alat dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan.
- Melakukan pengecekan terhadap *stopwach* yang akan digunakan untuk menentukan jangka waktu percobaan.

C. Pelaksanaan Pendahuluan

Percobaan ini dilakukan untuk pengecekan debit pada *Multy Purpose Teaching flume* agar didapat data debit aliran di *Multy Purpose Teaching flume* yang akurat.

D. Pelaksanaan Penelitian

- a. Setelah pasir ditebarkan dalam flume serta miniatur pilar terpasang, pompa dihidupkan dengan debit yang bervariasi pada setiap pilar.
- b. Proses terjadinya gerusan lokal di sekitar pilar diamati dan kedalaman gerusan diukur pada 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit, 5 menit, 10 menit, 20 menit dan 30 menit untuk satu pilar.
- c. Pengamatan dihentikan setelah selang waktu 30 menit untuk satu pilar dengan cara debit diperkecil perlahan-lahan dan pompa dimatikan, percobaan ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat.
- d. Percobaan dilanjutkan kembali dengan mengganti bentuk pilar dan pasir ditebarkan dan diratakan kembali.

E. Pengamatan Kedalaman gerusan

Kedalaman gerusan dapat diukur dengan menggunakan pita ukur yang ditempelkan pada ujung pilar yang tertancap pada pasir. Pola dan kedalaman gerusan di sekitar pilar mulai diamati setelah air menabrak depan pilar. Pengamatan kedalaman gerusan diukur terhadap waktu pada 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit, 5 menit, 10 menit, 20 menit dan 30 menit untuk satu pilar satu percobaan debit. Percobaan debit ini dilakukan sebanyak tiga kali dan dihentikan setelah waktu yang ditentukan tercapai, Selanjutnya debit diperkecilkan perlahan-lahan lalu dimatikan.

F. Analisis Data

Dari hasil perolehan data aliran untuk setiap debit, gerusan dan pencatatan waktu, Selanjutnya akan diperoleh kedalaman gerusan untuk setiap bentuk pilar. Dari hasil perolehan kedalaman gerusan setiap pilar, Selanjutnya dilakukan perbandingan untuk mencari pilar yang mempunyai potensi gerusan yang terkecil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Aliran

Penelitian ini kondisi aliran di buat dalam keadaan seragam permanen (*steady uniform flow*), di mana berbagai variable aliran seperti kedalaman tampang basah

(h), kecepatan aliran (v) dan debit pada setiap tampang basah (Q) di sepanjang aliaran konstan tidak berubah terhadap waktu. Pada aliran ini garis energi, garis muka air dan dasar saluran saling sejajar. Kondisi kemiringan saluran yang digunakan pada penelitian ini di buat tidak mempunyai kemiringan ($I_s = 0\%$) dan kekasaran saluran tidak diperhitungkan.

Pengukuran kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar dilakukan dengan tiga variasi debit yaitu $Q_1 = 0,000361 \text{ m}^3/\text{dtk}$ atau $361 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ dengan kedalaman aliran sepanjang aliran (h_1) = 4 cm, $Q_2 = 0,000848 \text{ m}^3/\text{dtk}$ atau $848 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ dengan kedalaman aliran sepanjang aliran (h_2) = 4,9 cm dan $Q_3 = 0,001087 \text{ m}^3/\text{dtk}$ atau $1087 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ dengan kedalaman aliran sepanjang aliran (h_3) = 5,7 cm.

Penelitian gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar ini di lakukan pada kondisi aliran *clear water scour* (gerusan tanpa angkutan sedimen), dengan kedalaman aliran tergantung nilai debit dan sama sepanjang saluran dengan bilangan *froude* (F) < 1 atau pada saat kondisi aliran pada keadaan sub kritis.

Tabel 1 Percobaan yang Dilakukan

Percobaan	Kondisi aliran	Debit aliran (Q) cm^3/dtk	Tinggi aliran (h) cm	Lebar saluran (B) cm	Bentuk pilar
I	Clear water scour	361	4	10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bujur sangkar ▪ Bulat ▪ Jajaran genjang
II	Clear water scour	848	4,9	10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bujur sangkar ▪ Bulat ▪ Jajaran genjang
III	Clear water scour	1087	5,7	10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bujur sangkar ▪ Bulat ▪ Jajaran genjang

Sumber: Hasil penelitian di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidraulika

Tabel 2 Perhitungan Karakteristik Aliran

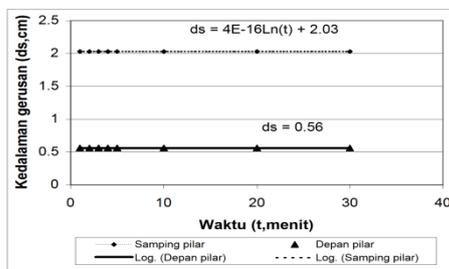
Kondisi clear water scour			
	361	848	1087
Debit (Q) cm^3/dtk	361	848	1087
Lebar saluran (B) Cm	10	10	10
Kedalaman aliran (h) Cm	4	4,9	5,7
Luas tampang saluran (A) cm^2	40	49	57
Kecepatan aliran (v) cm/dtk	9,0250	17,3061	19,0701
Keliling basah (K) cm	18	19,8	21,4
Radius hidraulik (R) cm	2,2222	2,4747	2,6635
Angka froude	0,1441	0,2496	0,2550

Sumber: Data hasil perhitungan

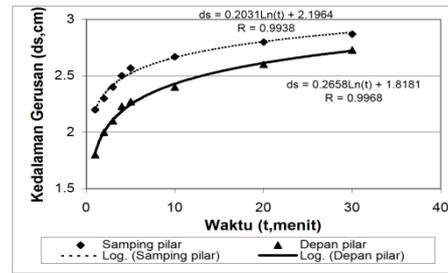
Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai debit maka variabel aliran seperti kedalaman aliran, luas tampang saluran, kecepatan aliran, keliling basah, radius hidraulik dan angka *froude* semakin besar nilai dari variabel tersebut.

B. Karakteristik Bentuk Kedalaman Gerusan Pilar Jajaran Genjang dengan Pilar Bulat dan Pilar Bujur Sangkar.

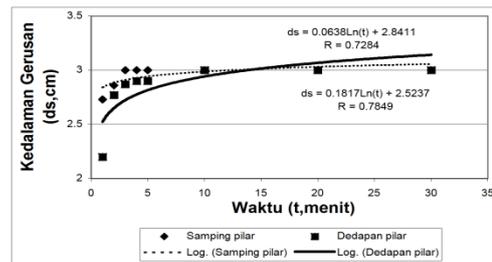
Pilar jajaran genjang mempunyai karakter lain dengan pilar bentuk bulat dan bentuk bujur sangkar, karena pilar jajaran genjang membentuk sudut terhadap arah aliran yang datang, sehingga proses gerusan yang terjadi berbeda dengan proses gerusan pada pilar bulat dan bujur sangkar. Bentuk pilar bulat dan pilar bujur sangkar proses kedalaman maksimum terjadi pada depan pilar karena letak posisi pilar sejajar dengan arah aliran yang datang. Pilar jajaran genjang yang membentuk sudut terhadap arah aliran, kedalaman gerusan maksimum terjadi pada sisi pilar. Semakin besar bentuk sudut yang terjadi terhadap arah aliran, maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi di sisi pilar. Bentuk geometri pilar berpengaruh besar terhadap pada kedalaman gerusan karena pilar memantulkan kekuatan dari *horseshoe vortex* (pusaran tapal kuda). Pilar yang posisinya tidak sejajar dengan arah aliran yang datang maka titik gerusan maksimum berpindah dari depan pilar ke sisi samping pilar, gerusan bagian samping pilar menjadi lebih besar dibandingkan bagian depan pilar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Perubahan nilai kedalaman gerusan akibat posisi pilar tidak sejajar aliran pada pilar jajaran genjang dengan debit 361 cm³/dtk.



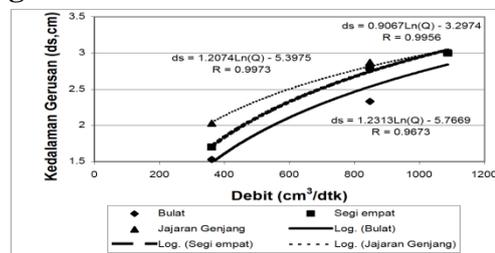
Gambar 6. Perubahan nilai kedalaman gerusan akibat posisi pilar tidak sejajar aliran pada pilar jajaran genjang dengan debit 848 cm³/dtk.



Gambar 7. Perubahan nilai kedalaman gerusan akibat posisi pilar tidak sejajar aliran pada pilar jajaran genjang dengan debit 1087 cm³/dtk

C. Kedalaman Gerusan

1. Hubungan debit dengan kedalaman gerusan



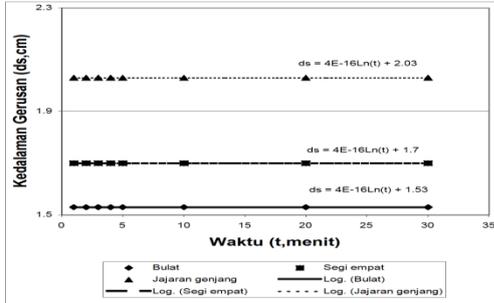
Gambar 8. Hubungan debit dengan kedalaman gerusan pada waktu 30 menit.

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tipe kedalaman gerusan dari masing-masing bentuk pilar berbeda, pada dasarnya perubahan debit sangat berpengaruh terhadap kedalaman gerusan yang terjadi, apabila debitnya dinaikan maka gerusan yang terjadi akan semakin dalam. Dapat disimpulkan bahwa bentuk pilar dan perubahan debit sangat mempengaruhi terhadap nilai kedalaman gerusan. Pada waktu 30 menit di peroleh nilai kedalaman gerusan sebesar 3 cm pada masing-masing pilar, kejadian ini disebabkan keterbatasan tebal pasir (sedimen), yang pada

penelitian ini di hamparkan sepanjang saluran setebal 3 cm.

2. Hubungan waktu dengan kedalaman gerusan

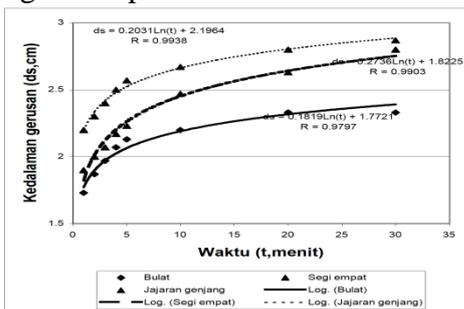
a.) Hubungan waktu dengan kedalaman gerusan pada debit 361 cm³/dtk



Gambar 9. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pada debit 361 cm³/dtk.

Dari gambar di atas dapat dilihat kedalaman gerusan yang terjadi tidak mengalami perubahan dari waktu ke waktu, disebabkan karena debit yang mengalir terlalu kecil, sehingga kecepatan aliran tidak mampu mengangkut butiran material dasar saluran (pasir). Nilai kedalaman gerusan terjadi pada saat awal *running* karena adanya hentakan pada saat aliran air membentur pilar dan perubahan pola arus aliran.

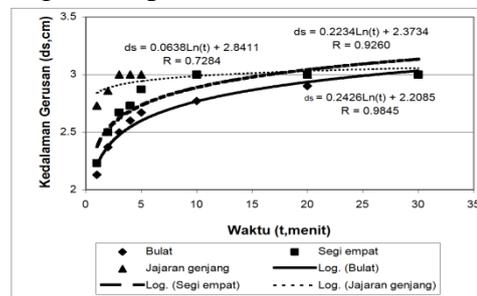
b.) Hubungan Waktu dengan Kedalaman gerusan pada Debit 848 cm³/dtk



Gambar 10. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pada debit 848 cm³/dtk.

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan bertambah dari waktu ke waktu. Pada awal pengaliran air ini gerusan yang terjadi sangat cepat sekali ini diakibatkan oleh perubahan pola arus karena adanya hentakan pada saat menabrak pilar. Bertambahnya nilai kedalaman gerusan dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh peningkatan debit yang digunakan sehingga kecepatan aliran mampu mengangkut material dasar saluran (pasir) dari waktu ke waktu

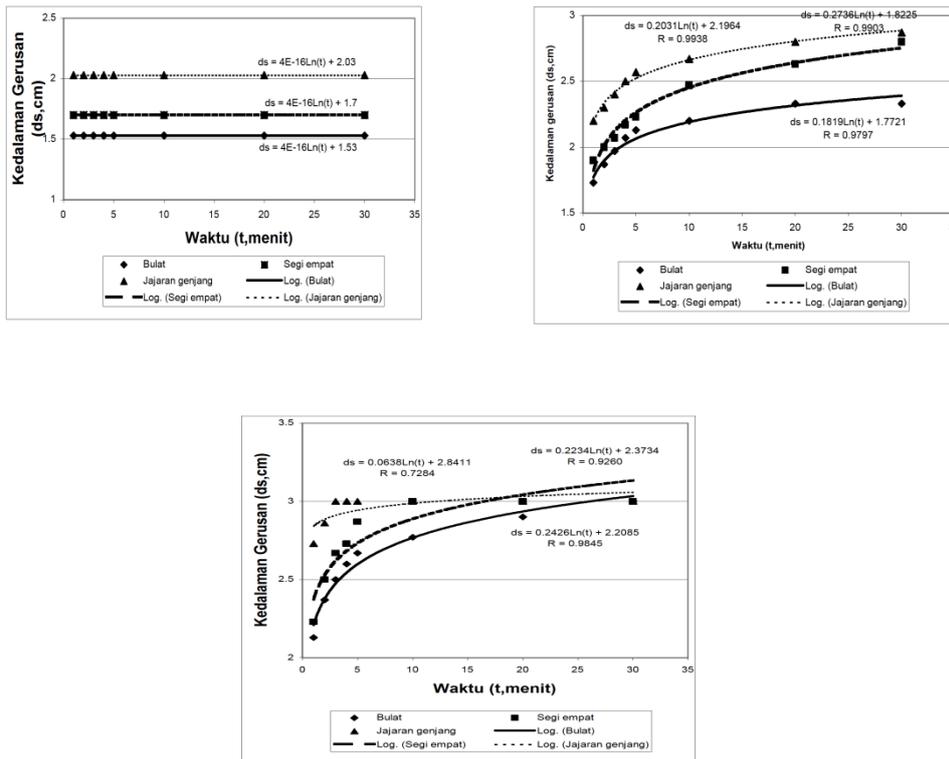
c.) Hubungan Waktu dengan Kedalaman gerusan pada Debit 1087 cm³/dtk



Gambar 11. Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu pada debit 1087 cm³/dtk.

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan bertambah dari waktu ke waktu. Pada awal pengaliran air ini gerusan yang terjadi sangat cepat sekali ini diakibatkan oleh perubahan pola arus karena adanya hentakan pada saat menabrak pilar. Bertambahnya nilai kedalaman gerusan dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh peningkatan debit yang digunakan sehingga kecepatan aliran mampu mengangkut material dasar saluran (pasir) dari waktu ke waktu. Pada menit ke 30 diperoleh nilai kedalaman gerusan yang sama pada masing masing pilar sebesar 3 cm, hal ini dikarenakan keterbatasan ketebalan material dasar (pasir) yang digunakan pada penelitian ini sebesar 3 cm.

D. Menentukan Bentuk Pilar yang Terbaik



Gambar 12. Kedalaman gerusan setiap pilar pada debit 361 cm³/dtk, 848 cm³/dtk dan 1087 cm³/dtk.

Dari data yang diperoleh dan diplotkan pada Gambar 12 di atas untuk kedalaman gerusan setiap pilar pada masing-masing debit, dapat dilihat bahwa kedalaman gerusan maksimum untuk pilar dengan bentuk jajaran genjang 2,03 cm; pilar bentuk bujur sangkar 1,7 cm dan pilar bentuk bulat 1,53 cm untuk debit 361 cm³/dtk. Untuk debit 848 cm³/dtk kedalaman gerusan maksimum pilar jajaran genjang 2,87 cm; pilar bujur sangkar 2,8 cm dan pilar bulat 2,33 cm. Untuk debit 1087 cm³/dtk kedalaman gerusan maksimum pilar jajaran genjang 3 cm; pilar bujur sangkar 3 cm dan pilar bulat 3 cm.

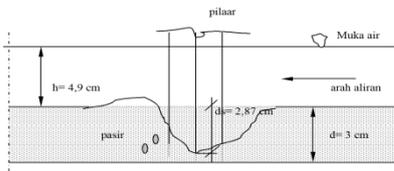
Dari hasil penjelasan di atas dapat disimpulkan pilar bentuk bulat yang mempunyai potensi kedalaman gerusan yang terkecil dari setiap debit. Untuk debit 1087 cm³/dtk kedalaman gerusan maksimum terjadi sama untuk setiap pilar itu dikarenakan keterbatasan lapisan material dasar saluran (pasir) sebesar 3 cm, pilar bentuk bulat yang

lebih lambat mencapai kedalaman gerusan maksimum sebesar 3 cm.

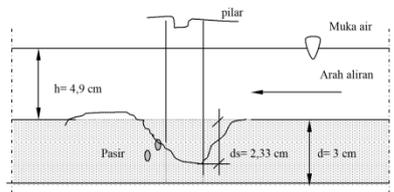
Pilar jembatan bentuk bulat merupakan pilar yang terbaik digunakan untuk pilar jembatan jika dibandingkan dengan pilar bentuk bujur sangkar dan pilar bentuk jajaran genjang, karena pilar bulat tidak memberikan sudut terhadap arah aliran dan dimana pilar bentuk bulat separasi yang terjadi menjadi kurang berpengaruh karena arah arus selalu kepusat lingkaran.

E. Pola Gerusan Lokal di Sekitar Pilar

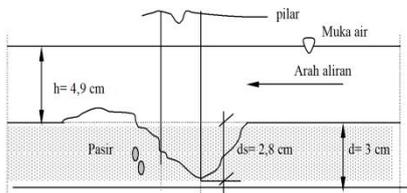
Gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi disekitar pilar akan membentuk suatu pola gerusan tertentu. Pada pengujian ini pola gerusan setiap pilar diamati setelah proses gerusan terjadi dan dilakukan pembuatan sketsa. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7 di bawah ini.



Gambar 13. Pola kedalaman gerusan lokal pada pilar jajaran genjang dengan debit 848 cm^3/dtk .



Gambar 14. Pola kedalaman gerusan lokal pada pilar bulat dengan debit 848 cm^3/dtk .



Gambar 15. Pola kedalaman gerusan lokal pada pilar bujur sangkar dengan debit 848 cm^3/dtk .

Dari ketiga gambar di atas dapat dilihat bahwa pola kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar adalah sama untuk posisi pilar yang sejajar dengan arah aliran yang datang, proses gerusan terjadi pada depan dan belakang pilar, gerusan maksimum terjadi pada depan pilar, tapi yang berbeda adalah nilai kedalaman gerusan yang berbeda seiring bertambahnya debit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15. Pola kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar yang posisinya membentuk sudut terhadap arah aliran yang datang, proses gerusan terjadi pada depan, samping dan belakang pilar kedalaman gerusan maksimum terjadi di samping pilar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 Pola gerusan lokal di sekitar pilar untuk pilar yang sejajar dengan arah aliran dan pilar yang membentuk sudut terhadap arah aliran adalah berbeda.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari rangkaian percobaan di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidraulika Jurusan

Teknik Sipil mengenai pengaruh bentuk pilar jembatan terhadap potensi gerusan lokal, maka ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pengujian yang dilakukan, perubahan debit aliran (Q), sangat berpengaruh terhadap kedalaman gerusan.
2. Semakin besar debit yang digunakan, maka kedalaman gerusan yang terjadi juga akan semakin besar pula, pada pengujian dengan debit aliran $Q_1 = 361 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ gerusan maksimum yang terjadi sebesar $(d_s) = 2,03 \text{ cm}$ untuk pilar dengan bentuk jajaran genjang, $(d_s) = 1,7 \text{ cm}$ untuk pilar dengan bentuk bujur sangkar dan $(d_s) = 1,53 \text{ cm}$ untuk pilar dengan bentuk bulat, $Q_2 = 848 \text{ cm}^3/\text{dtk}$, $(d_s) = 2,87 \text{ cm}$ untuk pilar dengan bentuk jajaran genjang, $(d_s) = 2,8 \text{ cm}$ pilar dengan bentuk bujur sangkar dan $(d_s) = 2,33 \text{ cm}$ untuk pilar dengan bentuk bulat, $Q_3 = 1087 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ material dasar saluran di sekitar pilar terangkut semua maka didapat $(d_s) = 3,0 \text{ cm}$ untuk pilar dengan bentuk jajaran genjang, $(d_s) = 3,0 \text{ cm}$ untuk pilar dengan bentuk bujur sangkar dan $(d_s) = 3,0 \text{ cm}$ untuk pilar dengan bentuk bulat.
3. Untuk semua pengujian yang dilakukan, pola dan posisi kedalaman gerusan lokal terbesar terjadi di depan pilar jembatan untuk pilar bulat dan bujur sangkar karena sejajar terhadap arah aliran, untuk pilar jajaran genjang gerusan lokal terbesar terjadi pada sisi samping pilar karena posisi pilar membentuk sudut terhadap aliran.
4. Pilar yang paling baik digunakan untuk pilar jembatan adalah pilar dengan bentuk bulat, Jika dibandingkan dengan pilar dengan bentuk bujur sangkar dan jajaran genjang karena mempunyai kedalaman gerusan yang terkecil dan mudah diatur terhadap pola arus sejajar aliran, separasi yang terjadi menjadi kurang berpengaruh karena arah arus selalu ke pusat lingkaran

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada teknisi laboratorium Mekanika Fluida dan Hidraulika Jurusan Teknik Sipil yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

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.
- Dinamika TEKNIK SIPIL**, Volume 7, Nomor 1, Januari 2007 : 20 – 29
- 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.
- Hoffmans, G.J.C.M. and Verheij**, 1997. *Scour Manual*. A.A. Balkema, Rotterdam
- Istiarto**, 2002, *Geometri dan Kapasitas Tampang Sungai*, Perumka-FT UGM, Yogyakarta
- Jansen, P. P.**, 1979, *Principles of River Engineering*, Nedeco, Netherlands Engineering Consultans.
- 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
- 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.
- Neil, C.R.**, 1973, *Guide to Bridge Hydraulic*, Project Committee on Bridge Hydraulics, Roads and Transportation Association of Canada.
- Triatmodjo, B.**, 1995, *Hidraulika I*, Jilid ke 3, Beta Offset, 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.