

PENGARUH PILAR SEGITIGA DAN PILAR SETENGAH LINGKARAN TERHADAP KEDALAMAN GERUSAN**Rudi Herman¹, Khoriana Zukaenah²**^{1,2}Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako Palu*Jl. Soekarno-Hatta Km. 9 Palu, Sulawesi Tengah**Email: rudi.herman2@gmail.com***Abstrak**

Pilar merupakan bagian dari struktur bawah jembatan yang senantiasa terdampak pada aliran sungai sehingga rentan terhadap gerusan sekitar pilar. Gerusan mengakibatkan pengikisan disekitar pilar. Adapun faktor yang mempengaruhi gerusan lokal pada pilar jembatan yaitu bentuk geometrik pilar, karakteristik aliran dan jenis sedimen. Penelitian bertujuan untuk mengetahui seberapa besar gerusan dan pola gerusan disekitar pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran. Ukuran pilar yang digunakan adalah panjang 50 cm, lebar 10 cm dan tinggi 50 cm. Sedangkan untuk aliran menggunakan ketinggian muka air 4,5 cm dan 7,6 cm dengan debit aliran 10,376 liter/detik. Sedimen yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan No. 10 dan tertahan saringan No. 20 dengan nilai $d_{50} = 0,62$ mm; untuk setiap kali percobaan dilakukan selama 120 menit. Hasil yang diperoleh dimana kedalaman gerusan maksimum pada pilar segitiga untuk tinggi muka air 4,5 cm adalah 3,3 cm, dan tinggi muka air 7,6 cm adalah 2.9 cm. Untuk pilar setengah lingkaran untuk ketinggian muka air 4,5 cm kedalaman gerusan maksimum sebesar 3 cm, dan untuk tinggi muka air 7,6 cm adalah 2.7 cm. Disimpulkan bahwa dengan debit yang sama, semakin rendah tinggi muka air maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi. Pola gerusan yang terjadi pada pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran akibat aliran yang berasal dari hulu dan terbentuk akibat perbedaan geometrik pilar.

Kata kunci: Bentuk Pilar, Gerusan Maksimum, Kedalaman Aliran.

Absrtact

Pillars are part of the bridge's substructure which are constantly impacted by river flow so they are vulnerable to scouring around the pillars. Scour causes erosion around the pillars. The factors that influence local scour on bridge pillars are the geometric shape of the pillars, flow characteristics and sediment type. The research aims to determine how much scour and the scour pattern around the triangular pillars and semi-circular pillars. The dimensions of the pillars used are 50 cm long, 10 cm wide and 50 cm high. Meanwhile, for flow, water levels of 4.5 cm and 7.6 cm are used with a flow rate of 10.376 liters/second. The sediment used is sand that passes filter No. 10 and retained by filter No. 20 with a value of $d_{50} = 0.62$ mm; Each time the experiment was carried out for 120 minutes. The results obtained were that the maximum scour depth on the triangular pillar for a water level of 4.5 cm was 3.3 cm, and a water level of 7.6 cm was 2.9 cm. For semicircular pillars, for a water level of 4.5 cm, the maximum scour depth is 3 cm, and for a water level of 7.6 cm, it is 2.7 cm. It was concluded that with the same discharge, the lower the water level, the greater the depth of scour that occurs. The scour pattern that occurs on triangular pillars and semicircular pillars is due to flows originating from upstream and is formed due to differences in the geometry of the pillars.

Keywords: Pillar shape, Maximum scour, Depth of flow

1. Pendahuluan

Sungai secara umum memiliki suatu karakteristik sifat yaitu terjadinya perubahan morfologi pada bentuk tampang aliran. Perubahan ini bisa terjadi karena faktor alam dan manusia seperti halnya pembuatan bangunan-bangunan air seperti pilar, abutmen, bendung dan sebagainya. Pilar merupakan salah satu konstruksi yang paling penting dalam merencanakan jembatan. Konstruksi ini berfungsi untuk menyokong dan menahan berat badan jembatan sendiri serta muatan yang melintasinya.

Letak pilar yang berada pada aliran air sungai, mengakibatkan dasar sungai di sekitar pilar memiliki potensi menagalami gerusan lokal. Jika gerusan lokal di sekitar pilar terjadi dalam jangka waktu yang Panjang, maka kedalaman gerusan di sekitar pilar semakin dalam, sehingga dapat mengaikbatkan rusak atau robohnya konstruksi jembatan.

Gerusan lokal pada pilar terjadi akibat system aliran *vortex* pada pilar, yang dikenal dengan *horse shoes vortex system* (pusaran sistem sepatu kuda). Hal ini terjadi akibat ada bagian aliran yang ditahan oleh pilar. Gerusan lokal merupakan gejala alami yang terjadi yang terjadi akibat pengikisan pada sedimen dasar dan butiran yang dilalui oleh aliran. Besar kecilnya gerusan lokal sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang terjadi disekitar dasar sungai. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya gerusan lokal pada pilar jembatan yaitu: bentuk geometric pilar, karakteristik dari aliran, dan jenis sedimen.

Gerusan lokal yang terjadi pada pilar jembatan pada umumnya karena perubahan pola Aliran air pada pilar. Perubahan pola aliran air ini dapat meningkatkan kedalaman gerusan di sekitar pilar, sehingga gerusan yang terjadi di daerah sekitar pilar ini dapat membahayakan kelangsungan sungai dan keberlangsungan infrastruktur yang ada disekitarnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar kedalaman gerusan maksimum di sekitar pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran dan untuk mengetahui bagaimana pola gerusan yang terjadi di sekitar pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran.

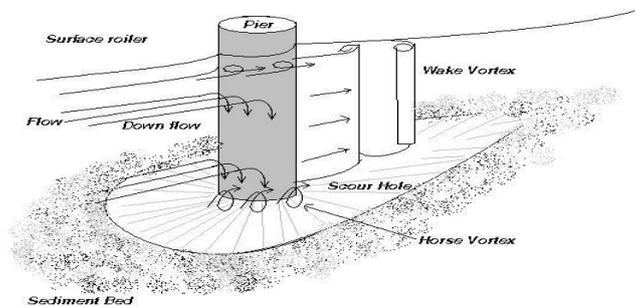
2. Kajian Pustaka

2.1 Konsep Dasar Gerusan

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka maupun pipa. Kedua jenis aliran tersebut sama dalam banyak hal, namun berbeda satu hal yang penting. Aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas, sedangkan aliran pipa tidak demikian, karena harus mengisi pipa.

2.2 Mekanisme Gerusan

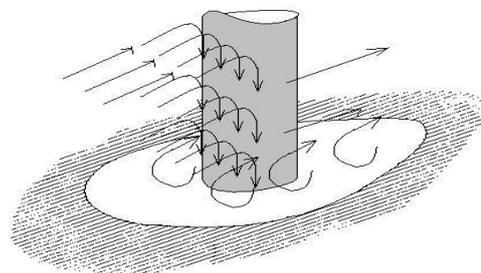
Interaksi antara aliran di sekitar pilar jembatan dengan dasar sungai di sekitar pilar sangat kompleks. Pilar atau abutmen yang merintang aliran dapat menyebabkan system pusaran (*vortex system*) aliran di sekitar bangunan tersebut. Sistem pusaran ini selanjutnya menyebabkan gerusan di sekitar pilar atau abutmen. Lubang gerusan yang timbul, bermula dari arah hulu pilar, pada saat mulai timbul komponen aliran yang mengarah ke bawah (Graf W.H dan Yulistiyanto, 1998).



Gambar 1. Pola Arus di Sekitar Pilar Jembatan Bulat
(Sumber: Breuser dan Raudkivi 1991)

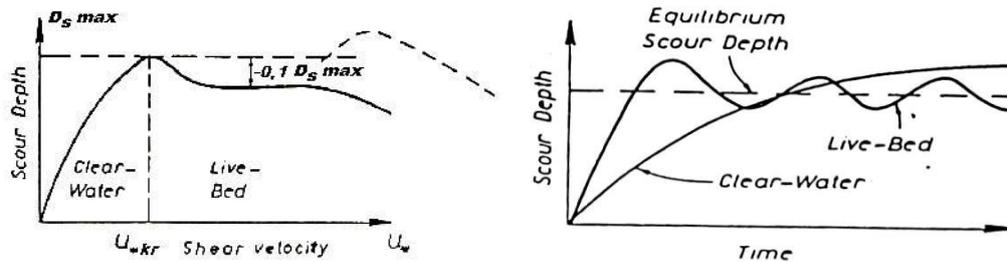
Di dekat dasar komponen aliran tersebut akan berbalik arah ke hulu, yang diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral di daerah lobang gerusan (*scour hole*) yang mengakibatkan gerusan dasar sungai di sekitar pilar seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 hal ini akan berlangsung terus sampai terjadi keseimbangan.

Proses gerusan di sekitar pilar sangat kompleks karena meliputi aliran tiga dimensi. Pada saat aliran melewati pilar, akan terjadi pemisahan aliran dan pemisahan ini akan meluas kebagian hilir pilar. Sistem pusaran yang terjadi mempunyai bentuk atau karakteristik seperti pusaran sepatu kuda sehingga dinamakan pusaran sepatu kuda (*horse-shoe vortex*) seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sistem Pusaran Telapak Kaki Kuda
(Sumber: Legono 1990)

Kedalaman gerusan pada *clear-water scour* dan *live-bed scour* merupakan fungsi kecepatan geser. Kedalaman gerusan maksimum terjadi saat kecepatan geser u^* sama dengan kecepatan geser kritik yaitu pada daerah transisi antara *clear-water scour* dan *live-bed scour* seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Kedalaman Gerusan (d_s) sebagai Fungsi Kecepatan Geser (u^*) dan sebagai Fungsi Waktu (t) (Sumber: Breusers dan Raudkivi, 1991)

Menurut Chabert dan Engeldinger (1965) dalam Breusers dan Raudkivi (1991), lobang gerusan yang terjadi pada alur sungai disamping merupakan fungsi kecepatan geser, juga merupakan fungsi waktu. Selain itu kedalaman gerusan tergantung dari beberapa variabel yaitu karakteristik zat cair, material dasar, aliran dalam saluran dan bentuk pilar.

2.3 Awal Gerak Butiran

Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan atau menyeret butiran material sedimen. Tiga faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu:

- 1) kecepatan aliran dan diameter/ukuran butiran
- 2) gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran, dan gaya geser kritis

Pada pengetahuan tentang awal gerak sedimen disebutkan bahwa pergerakan butiran dasar tersebut diawali dengan kondisi kritis dimana gaya-gaya aliran (gaya hidrodinamik) yang bekerja pada suatu partikel sedimen mencapai suatu nilai tertentu, yaitu jika gaya sedikit bertambah sehingga menyebabkan butiran sedimen bergerak. Parameter aliran pada kondisi tersebut seperti tegangan dasar (τ_0), kecepatan aliran (U_0), yang juga akan mencapai kondisi kritiknya.

2.4 Faktor yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan

Kedalaman gerusan yang terjadi disekitar bangunan air, jembatan dan penyempitan air dipengaruhi beberapa faktor yang antara lain adalah:

- Kecepatan Aliran pada Alur Sungai
- Ukuran Pilar dan Ukuran Butir Material Dasar
- Kedalaman Aliran
- Bentuk Pilar

3. Bahan dan Metode

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

a. *Flume*

Flume yang digunakan terbuat dari dinding beton dengan ukuran panjang 15 m, lebar 0,9 m, dan tinggi m.



Gambar 4. Flume (Foto Langsung dari Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Tadulako)

b. Pintu ukur segitiga (*Triangular Notch*)

c. Pintu air hilir

d. Pompa air

e. Pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran

f. Alat ukur

1) Penggaris tangan, digunakan untuk mengukur lebar gerusan dan tinggi muka air.

2) *Point gauge*, digunakan untuk mengukur kedalaman gerusan.

g. Alat bantu lainnya

Alat bantu lainnya yang digunakan terdiri dari saringan pasir, ember, penggaris waterpass, kamera dan alat tulis. Alat tulis digunakan untuk mencatat hasil penelitian.

3.3 Pelaksanaan Persiapan Penelitian

a. *Running* Pendahuluan

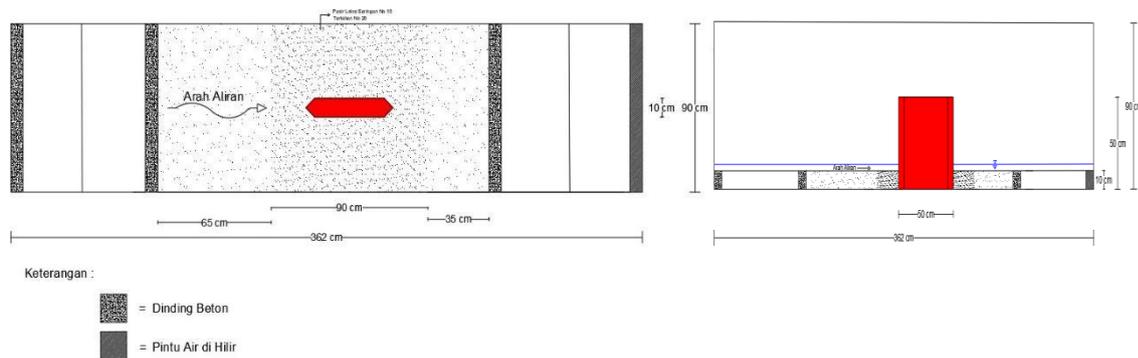
Running pendahuluan dilakukan untuk memperoleh data-data awal yang diperlukan untuk mendukung pelaksanaan penelitian yang meliputi: menentukan nilai batas awal gerak sedimen dan menentukan kedalaman aliran yang akan dipakai

b. Pengamatan Gerusan

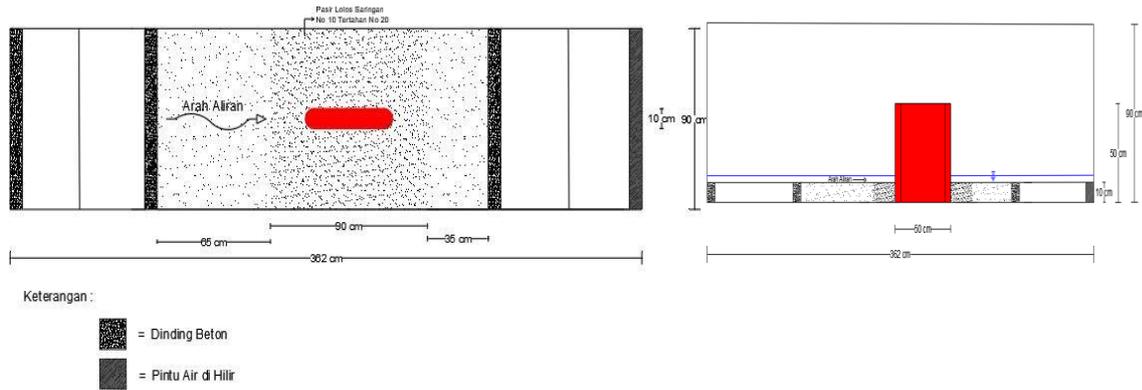
- 1) Mengecek air dipenampungan bawah, apabila kurang dari batas ketinggian air yang ditentukan, tampung air sampai mencapai batas ketinggian air.
- 2) Meletakkan pilar di tengah-tengah *flume* dan sampai di dasar *flume*.
- 3) Memasukkan pasir kedalam *flume* setinggi 10 cm, kemudian meratakannya.
- 4) Menyalakan saklar listrik.
- 5) Menyalakan dap air untuk menampung air dipenampungan atas.
- 6) Membuka dan mengatur pintu bukaan yang berada di hulu saluran untuk menentukan tinggi muka air yaitu 4,5 cm dan menghitung debit air yang keluar.
- 7) Apabila air yang mengalir disaluran sudah konstan dengan ketinggian air 4,5 cm, dilakukan *running* selama 120 menit.
- 8) Pada menit ke 120 mematikan dap air serta menutup pintu bukaan air yang berada di hulu saluran dan menunggu permukaan saluran tidak ada air lagi.
- 9) Setelah seluruh permukaan saluran tidak ada air, dilakukan pengukuran elevasi dasar yang telah berubah karena adanya gerusan. Pengukuran ini menggunakan *point gauge*.
- 10) Hal serupa dilakukan untuk ketinggian muka air 7,6 cm.

3.4 Tata Letak Pilar Segitiga dan Pilar Setengah Lingkaran

Model penelitian dapat dilihat pada Tata Letak Pilar Segitiga dan Pilar Setengah Lingkaran pada gambar berikut ini:



Gambar 5. Sketsa Tampak Atas dan Tampak Samping Posisi Pilar Segitiga pada Flume

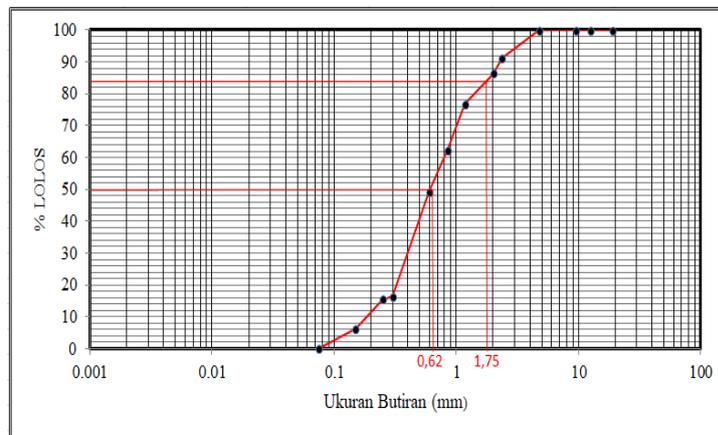


Gambar 6. Sketsa Tampak Atas dan Tampak Samping Posisi Pilar Setengah Lingkaran pada Flume

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pemeriksaan Material Dasar

Hasil Pemeriksaan Analisa Gradasi Butiran dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 7. Bentuk Grain Diameter

Berdasarkan grafik gradasi sedimen pada gambar di atas di dapatkan hasil plotting nilai $d_{50} = 0,62$ mm dan nilai $d_{84} = 1,75$. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang lolos saringan No. 10 tertahan saringan no. 20.

4.2 Karakteristik Aliran

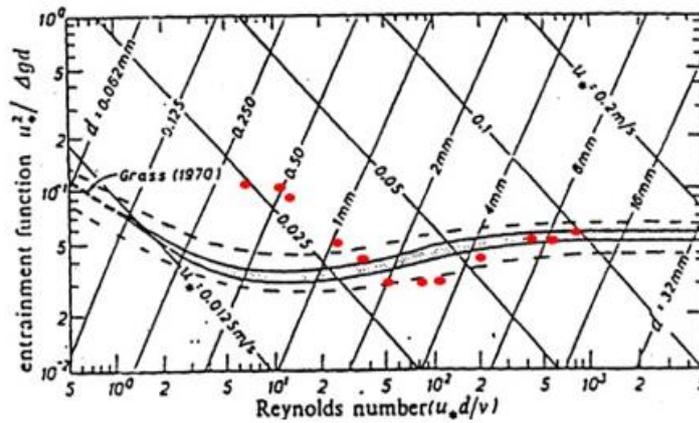
Dalam penelitian ini digunakan ketinggian muka air (y_n) = 0,045 m dan 0,076 m dengan debit (Q) = 0,010376 m³/dt untuk pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran. Diperoleh Kecepatan rata-rata, $u_0 = 0,231$ m/dt.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Paramater Kritis Shields (θ_{cr}) dan (U_*) Kedalaman Air 0,045 m

y_n (m)	τ_0 (N/m)	G_s	ρ_s (kg/m ³)	d_{50} (m)	τ_{cr} (N/m)	Δ	u_* (m/s)
0.045	0.004536	2.6	2600	0.00062	0.000985	1.6	0.00664

Tabel 2. Hasil Perhitungan Paramater Kritis Shields (θ_{cr}) dan Bilangan Reynold (Re_*) Kedalaman Air 0,045 m

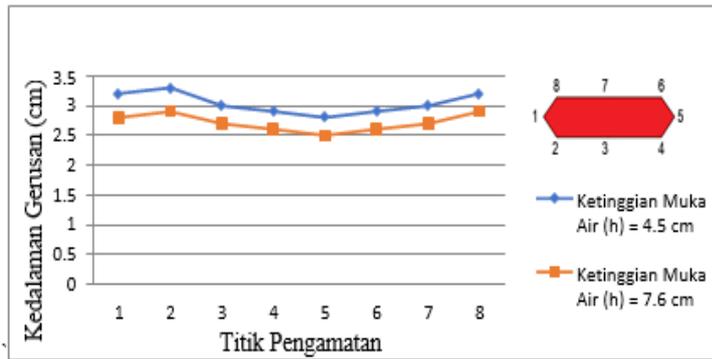
NO	%	d (mm)	d (m)	D_*	θ_{cr}	Re_*
1	2	3	4	5	6	7
1	6.24	0.15	0.00015	1.36	0.18	6.50
2	15.52	0.25	0.00025	2.27	0.11	10.84
3	16.33	0.30	0.00030	2.73	0.09	13.01
4	49.28	0.60	0.00060	5.46	0.05	26.01
5	62.39	0.85	0.00085	7.73	0.04	36.85
6	76.76	1.18	0.00118	10.73	0.03	51.15
7	86.32	2.00	0.00200	18.19	0.03	86.70
8	91.29	2.36	0.00236	21.46	0.03	102.31
9	100.00	4.75	0.00475	43.19	0.04	205.92
10	100.00	9.50	0.00950	86.39	0.05	411.84
11	100.00	12.50	0.01250	113.67	0.05	541.90
12	100.00	19.00	0.01900	172.78	0.055	823.68



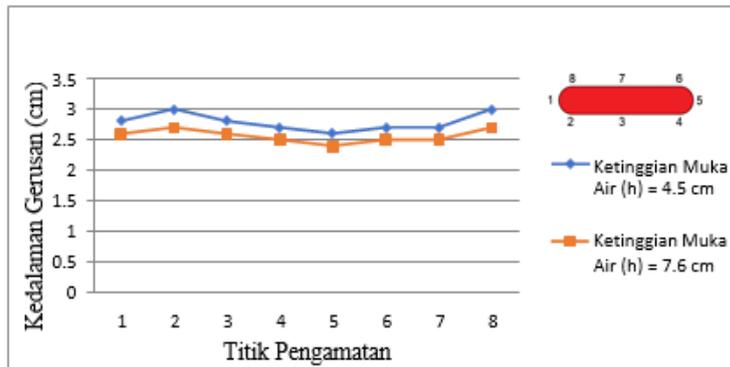
Gambar 8. Hasil Plotting Nilai Re_* dan θ_{cr} pada Grafik Shields, Kedalaman air 0,045 m

4.3 Analisa Data dan Pembahasan

4.3.1 Pengamatan Kedalaman Gerusan di Beberapa Titik di Sekitar Pilar Segitiga



Gambar 9. Grafik Kedalaman Gerusan di Sekitar Pilar Segitiga

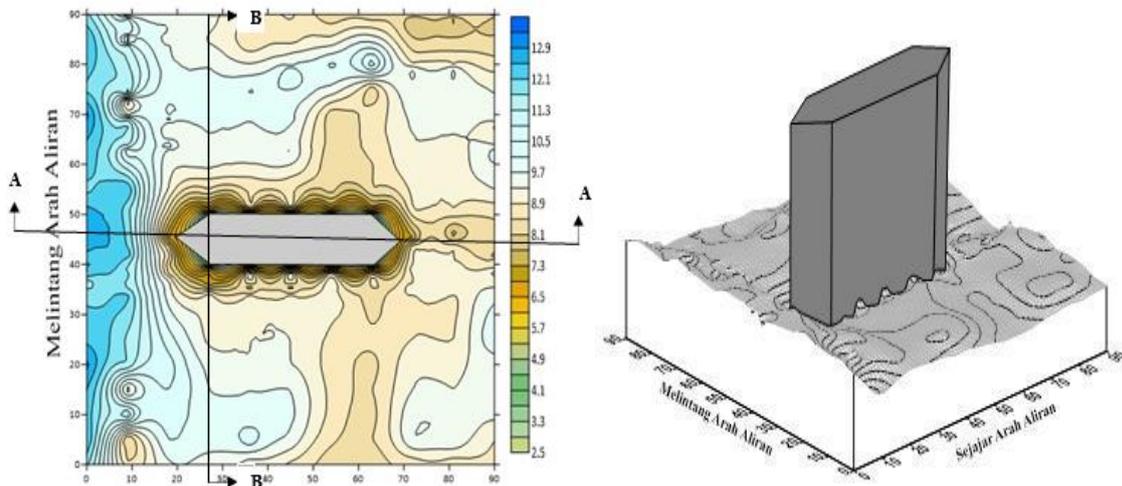


Gambar 10. Grafik Kedalaman Gerusan di Sekitar Pilar Setengah Lingkaran.

Berdasarkan gambar 9 dan gambar 10 di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar kedalaman aliran (ketinggian muka air) maka semakin kecil gerusan yang terjadi, dikarenakan semakin besar nilai kedalaman aliran (ketinggian muka air) yang terjadi maka kecepatannya semakin lambat sehingga semakin kecil gerusan yang terjadi disekitar pilar.

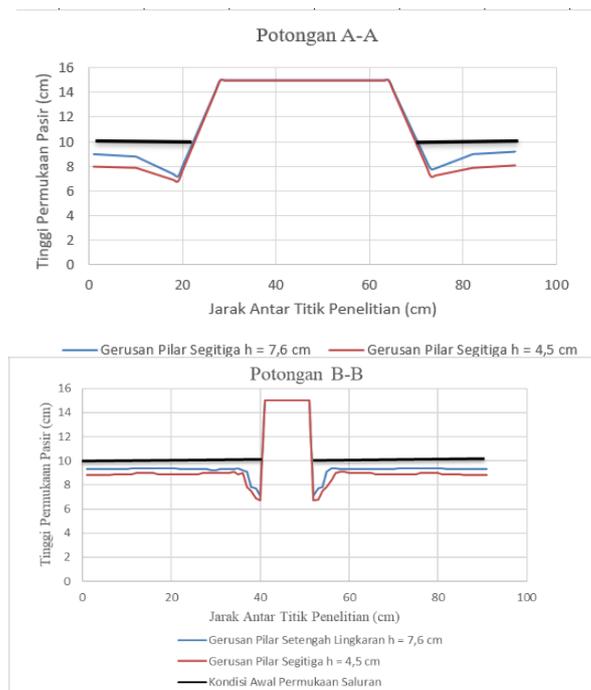
4.4. Pola Gerusan disekitar Pilar

Dari hasil pengamatan proses perkembangan kedalaman gerusan yang dilaksanakan di laboratorium menunjukkan bahwa besarnya kedalaman gerusan bervariasi sesuai dengan masing-masing model pilar jembatan. Pengambilan koordinat kontur yaitu untuk X searah aliran (horisontal), Y dan Z berlawanan arah aliran (vertikal). Hasil pembacaan point gauge menghasilkan titik-titik kedalaman gerusan di setiap titik koordinat arah X dan arah Y di permukaan dasar material dengan pola gerusan yang berbeda untuk setiap variasi penelitian. Selanjutnya data-data dan hasil pengukuran diolah untuk mendapatkan peta kontur sebagai berikut:

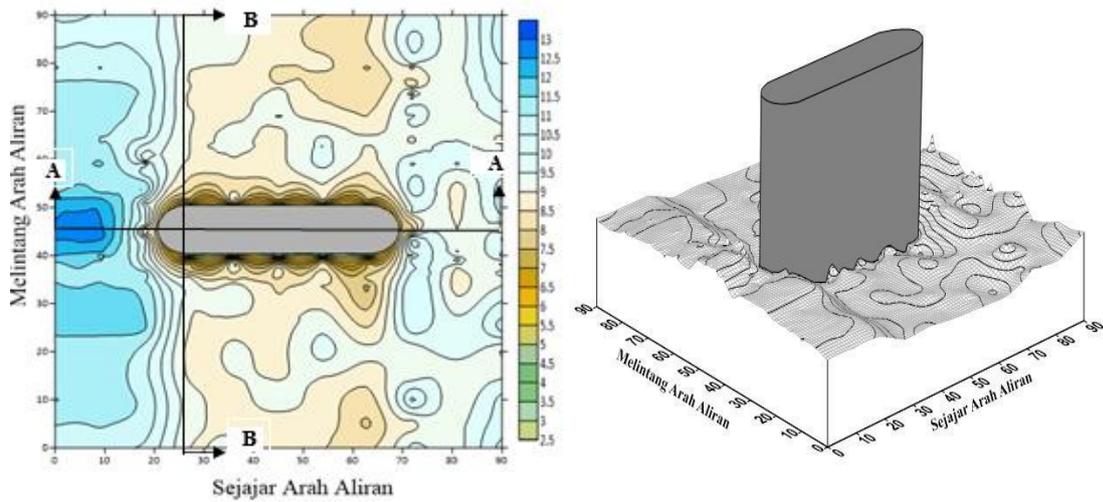


Gambar 11. Kontur Gerusan pada Model Pilar Segitiga untuk Ketinggian Muka Air 4,5 cm dan 7,6 cm Running 120 menit.

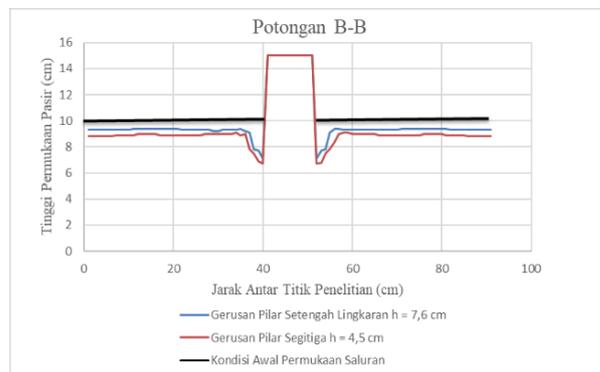
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa gerusan berawal dari aliran yang berasal dari hulu yang terhalang pilar segitiga kemudian aliran menyentuh sisi depan pilar segitiga dan menyebabkan timbulnya pusaran yang terjadi akibat kecepatan aliran yang membentur pilar bagian depan menjadi gaya tekan pada permukaan pilar tersebut. Pusaran yang menggerus dari depan pilar kemudian menggerus samping pilar dan belakang pilar menyebabkan gerusan lokal (*local scour*) pada pilar. Pola kedalaman gerusan yang lebih besar terjadi pada penelitian dengan ketinggian muka air 4,5 cm.



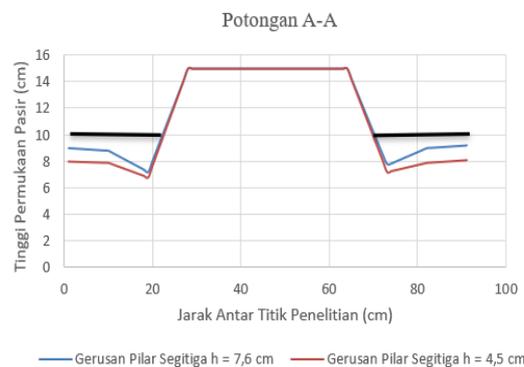
Gambar 12. Potongan Memanjang A-A dan B-B Pada Pilar Segitiga, Ketinggian Muka Air 4,5 cm dan 7,6 cm



Gambar 13. Kontur Gerusan pada Model Pilar Setengah Lingkaran untuk Ketinggian Muka Air 4,5 cm dan 7,6 cm Running 120 menit.



Gambar 14. Potongan Memanjang A-A dan B-B Pada Pilar Setengah Lingkaran Untuk Ketinggian Muka Air 4,5 cm dan 7,6 cm



4.5 Perbandingan Hasil Penelitian Bentuk Pilar Segitiga dengan Persamaan Empiris

a. Faktor-faktor yang berpengaruh pada gerusan maksimum

Mendapatkan nilai k_s atau factor pengaruh bentuk pilar dengan menggunakan persamaan pada Bab II, diperoleh:

Nilai k_s : 0,9

Mendapatkan nilai k_g atau faktor pengaruh gradasi butiran dasar dengan menggunakan data hasil analisa saringan:

$d_{84} = 1,75 \text{ mm}$

$d_{50} = 0,62 \text{ mm}$

Sehingga diperoleh nilai

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{50}}\right)^{0,5} \dots\dots\dots (1)$$

$$= 1,680$$

Kemudian dengan mengguakan Gambar 2.11 diperoleh nilai $k_g = 0,825$

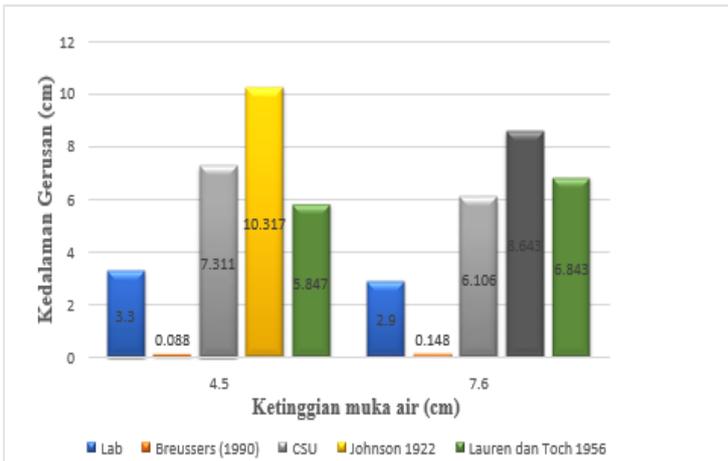
Mendapatkan nilai k_ω atau faktor pengaruh sudut datang aliran diperoleh dengan menggunakan Gambar . karena sudut datang sejajar arah aliran maka sudut datang tersebut adalah 0^0 sehingga nilai $k_\omega = 1$

Mendapatkan nilai k_{gr} atau faktor grup pilar tidak digunakan, karena pilar yang digunakan adalah pilar tunggal.

Dari keempat faktor yang berpengaruh pada gerusan lokal maksimum pilar, dapat dihitung:

$$k_i = k_s \cdot k_\omega \cdot k_g \cdot k_{gr} \dots\dots\dots (2)$$

$$k_i = 0,743$$



Gambar 15. Grafik Perbandingan Kedalaman Gerusan Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran di Laboratorium

Dari gambar di atas diperoleh gambaran secara kuantitatif mengenai perbandingan kedalaman gerusan hasil perhitungan menggunakan beberapa persamaan dengan nilai kedalaman hasil pengukuran di laboratorium pada model pilar segitiga dengan ketinggian muka air 7,6 cm dan 4,5 cm yang memberikan selisih nilai kedalaman yang cukup besar.

4.5 Perbandingan Hasil Penelitian Bentuk Pilar Setengah Lingkaran dengan Persamaan Empiris

Faktor-faktor yang berpengaruh pada gerusan maksimum pertama mendapatkan nilai k_s atau factor pengaruh bentuk pilar diperoleh nilai k_s : 0,8

Mendapatkan nilai k_g atau faktor pengaruh gradasi butiran dasar dengan menggunakan data hasil analisa saringan:

$$d_{84} = 1,75 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 0,62 \text{ mm}$$

Sehingga diperoleh nilai

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{50}}\right)^{0,5} = \left(\frac{1,75}{0,62}\right)^{0,5} \dots\dots\dots (3)$$

$$= 1,680$$

Kemudian diperoleh nilai $k_g = 0,825$

Untuk koefisien arah sudut datang aliran

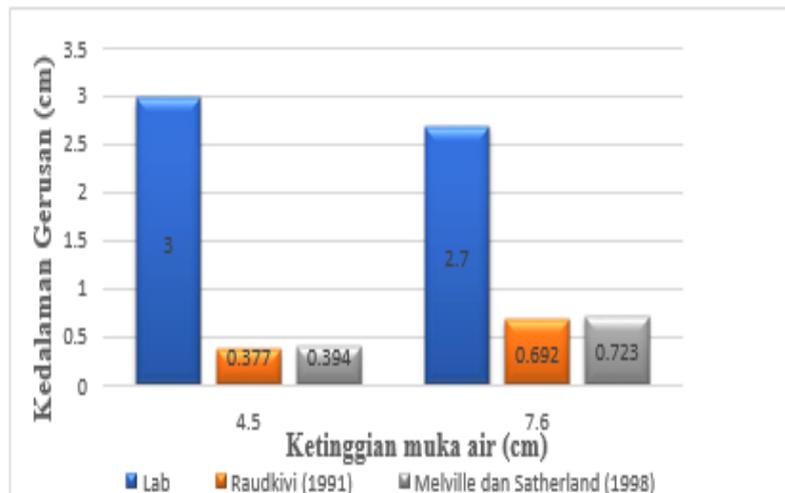
$$(k_\alpha) = (\cos \alpha + 1/b \sin \alpha)0,62 \dots\dots\dots (4)$$

$$= (\cos (0) + 50/10 \sin (0))0,62 = 1$$

$$\text{Nilai } = \frac{b}{d_{50}} = \frac{10}{0,62} = 16,129$$

Dari nilai $\frac{b}{d_{50}}$ dapat dicari koefisien ukuran butiran (Kdt) = 0,83

Dari nilai $\frac{y_0}{b} = \frac{7,6}{10} = 0,76$. dapat dicari koefisien kedalaman aliran (Kd) = 0,55



Gambar 16. Grafik Perbandingan Kedalaman Gerusan Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran di Laboratorium

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengamatan dengan cara mengukur besaran gerusan yang terjadi disekitar pilar dengan memvariasikan ketinggian muka air maka di peroleh:
 - a) Kedalaman gerusan di sekitar pilar segitiga yaitu pada ketinggian muka air 7,6 cm sebesar 2,9 cm dan ketinggian muka air 4,5 cm sebesar 3,3 cm.
 - b) Kedalaman gerusan di sekitar pilar setengah lingkaran yaitu pada ketinggian muka air 7,6 cm sebesar 2,7 cm dan ketinggian muka air 4,5 cm sebesar 3 cm.

Dari data kedalaman gerusan di atas dapat dilihat bahwa dengan debit yang sama, besarnya gerusan berbanding terbalik dengan ketinggian muka air. Semakin kecil ketinggian muka air maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi dan sebaliknya. Hal itu dipengaruhi oleh kecepatan alirannya karena semakin besar kedalaman aliran (ketinggian muka air) yang terjadi maka kecepatan alirannya semakin lambat sehingga semakin kecil gerusan yang terjadi disekitar pilar.

2. Pola gerusan yang terjadi pada pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran akibat aliran yang berasal dari hulu yang terhalang oleh pilar. Aliran dari hulu kemudian menyentuh sisi depan pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran yang menyebabkan timbulnya pusaran yang terjadi akibat kecepatan aliran yang membentur pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran sehingga mengakibatkan terjadinya gerusan di sekitar pilar, gerusan yang terbesar terjadi pada sisi depan pilar.

5.2 Saran

Disarankan untuk penelitian berikutnya beberapa hal sebagai berikut:

1. Sebagai penelitian selanjutnya debit aliran dapat divariasikan agar data yang diperoleh lebih bervariasi.
2. Sebagai penelitian selanjutnya sebaiknya meneliti tentang pola aliran yang terjadi disekitar pilar segitiga dan pilar setengah lingkaran.
3. Pembacaan *point gauge* harus lebih teliti lagi agar memperoleh hasil yang lebih akurat.

Daftar Pustaka

- Breuser,H.N.C.Raudkivi,A.J. (1991).Scouring. *IAHR Hydraulic Structure Design Manual*. Rotterdam: AA Balkema.
- Chow, V.T. (1985). *Hidraulika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga
- Fatimah,E.(2013). Studi Kedalaman Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Simpang Surabaya Kreung Aceh, Banda Aceh. Universitas Syiah Kuala.
- Graf, W.H and Yulistiyanto,B.,(1997). *Experiment on Flow Upstream of a Cylinder*”, Proceeding XXVII Congress, Int.Ass Hydraulic Res, Vol.1, San Fransisco USA.
- Graf and Yulistiyanto,B.,(1998). Experiments on Flow Around a Cylinde; the Velocity and Vorticity Fields. *Journal of Hydraulic Research*, 36(-),637-653.
- Graf, W.H. (1984). *Hdraulics of Sedimen Transport*. Water Resources Publications, Colorado.
- Hoffmans, G.J.C.M and Verheij. (1997). *Scour Manual*. A.A. Balkema, Rotterdam
- I Wayan Robinson. (1997). *Analisis Gerusan Lokal di Sekitar Pilar Ujung Runcing. Tugas Akhir, Palu*: Universitas Tadulako.
- Laursen, E.M dan Toch. (1956). *Scour Around Bridge Piers and Abutments*, Iowa Highway, Res Board, Buletin No.4. 60. PP.
- Legono. (1990). *Gerusan pada Bangunan Sungai*. PAU Ilmu-ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Neil. (1973). *Guide to Bridge Hydraulic*, Project Committee on Bridge Hydraulics, Roads and Transportation Association of Canada
- Purnomo, Sanindhya Nika, Nasta'in, Wahyu Widiyanto, dan Loren Salsabilla. (2017). *Efektivitas Bentuk Abutmen Terhadap Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan*.
- Raudkivi,A.J. and Ettema. (1982). *Scour at Bridge Piers*. Third Congres of the Asian and Pasific Division of the International Association for Hydraulics Research IAHR, 277.
- Triatmodjo, B. (1993). *Mekanika Fluida*,Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik,UGM, Yogyakarta..