

POLA GERUSAN LOKAL AKIBAT PERLAKUAN PADA ABUTMEN JEMBATAN

Nina Shaskia¹, Maimun Rizalihadi²

^{1,2)} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111
email: nina.shaskia@gmail.com

Abstract: Bridge failures due to local scouring are very common. Therefore, it is necessary to prevent local scouring in order to protect the bridges. One of the common causes of local scouring is the interference of bridge abutments on flowing water. The disruption of river flow pattern leads to bridge scour which can eventually damage the overall structure of the bridge. The purpose of this study was to see the behavior of local scour due to the treatment of bridge abutments. The abutment model used in this study is a vertical wall type abutment measuring 12 cm wide, 4.5 cm thick, and 80 cm high. The treatment of abutments is done by placing the orifice and by deflecting the abutment at a 90 ° angle. This research was conducted using a flume with a length of 15.46 meters, a width of 0.50 meters and a height of 1.00 meters which was given a layer of sand 10 cm thick with characteristics $d_{50} = 0.379$ mm and $\sigma_g = 2.786$ on the river bed. Observations were made at a constant discharge of 2.65 l / sec for 60 minutes for each running and measured using a point gauge. The results showed that the treatment of the abutments had an effect on the scour depth. As a result of being deflected by 90°, the scour depth at points 1, 3, and 4 respectively decreases by 17.8%, 20.5%, and 24.3% compared to the scour on untreated abutment; whereas due to placement of orifice, the scour depth at points 1, 3, and 4 respectively decreased by 21.6%, 24.3%, and 30.4%. The treatment of abutments also changes the scour pattern.

Keywords : abutment, local scour, orifice, angle

Abstrak: Kegagalan struktur bangunan jembatan akibat gerusan lokal sangat sering terjadi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencegahan gerusan lokal agar struktur jembatan tetap aman. Salah satu penyebab terjadinya gerusan lokal adalah terhalangnya aliran sungai akibat keberadaan abutmen jembatan. Terganggunya pola aliran sungai ini menyebabkan terjadinya gerusan di sekitar abutmen jembatan yang pada akhirnya dapat merusak keseluruhan struktur jembatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat perilaku gerusan lokal akibat perlakuan pada abutmen jembatan. Model abutmen yang digunakan pada penelitian ini adalah abutmen tipe *vertical-wall* dengan ukuran lebar 12 cm, tebal 4,5 cm, dan tinggi 80 cm. Perlakuan pada abutmen dilakukan dengan menempatkan *orifice* dan dengan membelokkan abutmen dengan sudut 90°. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *flume* dengan panjang 15,46 meter, lebar 0,50 meter dan tinggi 1,00 meter yang pada dasarnya diberi lapisan pasir setebal 10 cm dengan karakteristik $d_{50} = 0,379$ mm dan $\sigma_g = 2,786$. Pengamatan dilakukan pada debit konstan 2,65 l/det selama 60 menit untuk setiap kali *running* dan diukur dengan menggunakan *point gauge*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pada abutmen berpengaruh terhadap kedalaman gerusan yang terjadi. Akibat dibelokkan 90°, kedalaman gerusan pada titik 1, 3, dan 4 berturut-turut berkurang sebanyak 17,8 %, 20,5 %, dan 24,3 % dibandingkan dengan gerusan pada abutmen tanpa perlakuan; sedangkan akibat penempatan *orifice*, kedalaman gerusan pada titik 1, 3, dan 4 berturut-turut berkurang sebanyak 21,6 %, 24,3 %, dan 30,4 %. Perlakuan pada abutmen juga merubah pola distribusi gerusan.

Kata kunci : abutmen, gerusan lokal, *orifice*, sudut

1. PENDAHULUAN

Gerusan merupakan penurunan dasar sungai akibat terkikis oleh aliran air dan memiliki kecenderungan untuk menelanjangi pondasi jembatan (Melville dan Coleman, 2000). Gerusan yang diakibatkan oleh adanya suatu bangunan dinamakan gerusan

lokal (*local scour*). Proses terjadinya gerusan lokal biasanya terjadi karena tertahannya aliran akibat gangguan suatu struktur seperti abutmen. Gerusan lokal terjadi ketika aliran air di sekitar pilar atau abutmen memiliki kekuatan yang cukup besar untuk menggerus dasar sungai dan mengangkut material hasil gerusan ke

hilir. Apabila jumlah sedimen yang terangkut di sekitar abutmen lebih besar daripada sedimen yang tersuplai, maka lubang gerusan (*scour hole*) pada abutmen semakin lama akan semakin besar. Apabila dibiarkan, kedalaman gerusan ini akan mencapai kedalaman maksimum yang dapat menyebabkan kerusakan pada abutmen. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan pada abutmen untuk mereduksi kedalaman gerusan yang terjadi.

Berbagai penelitian terdahulu telah dilakukan untuk melihat besarnya kedalaman gerusan lokal pada abutmen dengan berbagai proteksi yang coba dilakukan. Pada umumnya, pengendalian gerusan dilakukan dengan menggunakan *riprap* seperti yang direkomendasikan oleh Bonasoundas (1973) dalam Abdurrosyid dan Fatchan (2007), tetapi banyak metode lain yang juga sudah dilakukan untuk mengendalikan gerusan. Rustiati (2007) melakukan penelitian tentang gerusan dengan menggunakan *riprap* sebagai proteksi. Abdurrosyid dan Fatchan (2007) melihat gerusan pada model abutmen tipe *sphill-through* dan *wing-wall* dengan menggunakan tirai sebagai pelindung pada kondisi *live-bed scour* untuk saluran majemuk. Masjedi dkk (2010) menggunakan collar sebagai proteksi. Kumcu dkk (2014) juga menggunakan collar sebagai proteksi abutmen jembatan dalam penelitiannya. Akib dkk (2014) mengkombinasikan *collar* dan *geobag* untuk mengurangi gerusan dalam penelitiannya dan terbukti bahwa kombinasi keduanya efektif dalam menanggulangi gerusan lokal. Elnikhely (2014) menggunakan tiang pancang sebagai pelindung (*protective pile*) yang diletakkan di hulu abutmen untuk mengurangi gerusan lokal. Purwantoro (2015) menggunakan *groundsill* dan abutmen bersayap untuk mengurangi gerusan lokal pada abutmen. Lutjito dan Sudiyono (2016) melakukan penelitian dengan menggunakan plat pelindung abutmen dan terbukti bahwa penggunaan plat efektif menurunkan kedalaman gerusan pada bagian hulu, tengah dan hilir abutmen. Dari semua penelitian di atas, hampir semuanya menggunakan material untuk

melindungi abutmen dari gerusan. Oleh sebab itu, pada penelitian ini pengendalian abutmen dilakukan dengan perlakuan langsung pada model abutmen, tanpa penggunaan material pelindung seperti pada penelitian terdahulu. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perilaku gerusan lokal akibat perlakuan pada abutmen jembatan.

Purnomo, dkk (2016) melakukan penelitian tentang efektifitas bentuk abutmen dengan menggunakan abutmen tipe *vertical-wall* dan *semi-circular-end*. Hasil yang diperoleh adalah pada abutmen tipe *vertical-wall*, gerusan hanya terjadi pada bagian samping abutmen. Sedangkan Shaskia, dkk (2016) melakukan penelitian dengan menggunakan abutmen tipe yang sama dengan perlakuan berupa penempatan *orifice*, diperoleh hasil bahwa penempatan *orifice* pada jarak $0,8h$ (dari dasar sungai) efektif mengurangi kedalaman gerusan lebih dari 20%. Elnikhely (2017) melakukan penelitian serupa dengan melubangi pilar jembatan untuk mengurangi gerusan, dan memperoleh hasil adanya pengurangan gerusan yang signifikan pada pilar jembatan yang berlubang.

Kedalaman Gerusan

Gerusan yang terjadi pada jembatan (Melville dan Coleman, 2000) terdiri dari gerusan umum (*general scour*), gerusan terlokalisir atau penyempitan (*contraction scour*), dan gerusan lokal (*local scour*). Gerusan lokal ditandai dengan adanya lubang gerusan di sekitar pilar atau abutmen. Gerusan ini dibedakan menjadi gerusan tanpa transpor sedimen (*clear water scour*) dan gerusan dengan transpor sedimen (*live bed scour*). Gerusan tanpa transpor sedimen adalah keadaan di mana sedimen di bagian hulu bangunan dalam keadaan diam ($\frac{v}{v_c} < 1$), dan keadaan ini dapat terjadi pada sedimen seragam dan tidak seragam. Sedangkan gerusan dengan transpor sedimen terjadi ketika kondisi aliran menyebabkan material dasar bergerak ($\frac{v}{v_c} > 1$).

Melville dan Coleman (2000) menyatakan bahwa

kecepatan aliran, kedalaman aliran, kekasaran material sedimen, waktu gerusan, dan bilangan Froude (Fr) adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kedalaman aliran. Selain itu, panjang abutmen (L) juga berkaitan dengan kedalaman gerusan (d_s). Pengaruh kedalaman aliran dan panjang abutmen terhadap kedalaman gerusan diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi kedalaman gerusan akibat kedalaman aliran

Tipe Pondasi	Golongan	L/y	Kedalaman Gerusan
Abutmen	Pendek (<i>short</i>)	$L/y < 1$	$d_s \propto L$
	Menengah (<i>intermediate length</i>)	$1 < L/y < 25$	$d_s \propto (Ly)^{0.5}$
	Panjang (<i>long</i>)	$L/y > 25$	$d_s \propto y$

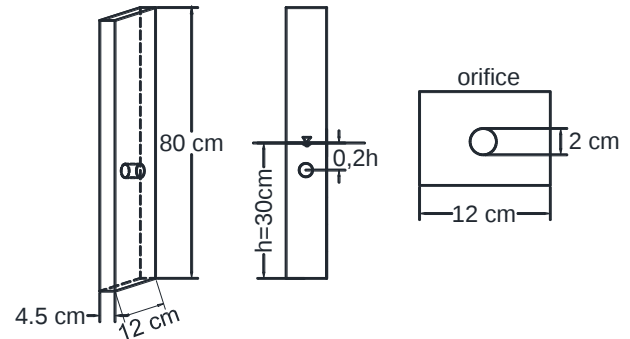
Sumber: Melville dan Coleman (2000)

Gerusan pada abutmen (Barbhuiya dan Dey, 2004) juga dipengaruhi oleh geometri saluran (lebar, bentuk potongan melintang, kemiringan saluran), geometri abutmen (ukuran, bentuk, sudut, kondisi permukaan), angkutan sedimen (diameter rata-rata, distribusi ukuran partikel, massa jenis, letak kemiringan sedimen pada saluran dan sifat kohesif), kondisi aliran (kecepatan rata-rata, kedalaman aliran, kecepatan geser, dan kekasaran) serta waktu penggerusan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidraulika Model Teknik Sungai dan Pantai. Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Bahan yang digunakan dalam penelitian terdiri dari air, pasir dan model abutmen. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir bergradasi buruk ($C_u = 2,94$ dan $C_c = 0,89$) yang lolos saringan no. 3/8" dan tertahan saringan no.200 dengan karakteristik $d_{50} = 0,379$ mm dan $\sigma_g = 2,786$. Model abutmen jembatan adalah tipe *vertical-wall* yang terbuat dari kayu dan memiliki ukuran panjang 12 cm,

tebal 4,5 cm dan tinggi 80 cm. Model abutmen diletakkan pada jarak 5 m dari hulu *flume*. Ukuran model abutmen yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model abutmen

Peralatan yang digunakan dalam penelitian terdiri saluran (*flume*), *point gauge*, *current meter*, pintu air Thompson, dan grid berukuran panjang 1,00 m dan lebar 0,50 m yang digunakan untuk membantu pengukuran gerusan. Saluran (*flume*) yang digunakan berukuran panjang 15,46 m, lebar 0,50 m dan tinggi 1,00 m. Pada bagian dasar *flume*, dihamparkan pasir dengan ketebalan 10 cm sebagai material dasar pada model sungai.

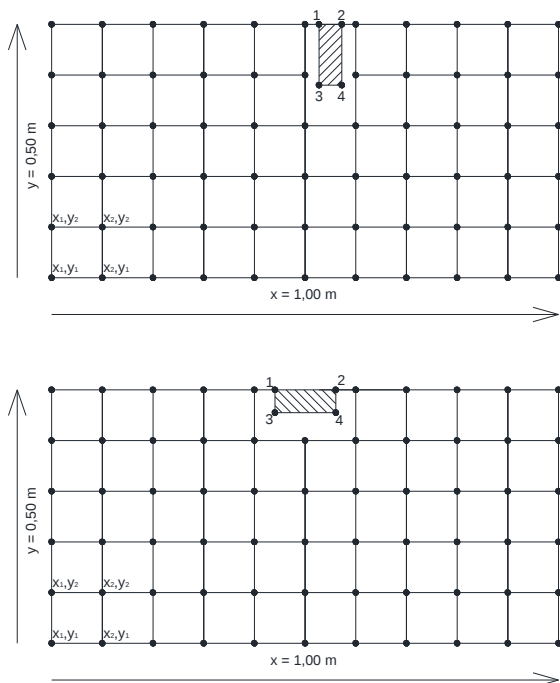
Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kedalaman dan pola gerusan dari 3 jenis abutmen. Jenis abutmen pertama diberi *orifice* pada $0,8h$ (diukur dari dasar sungai), abutmen kedua dibelokkan 90° , serta abutmen terakhir tidak diberi perlakuan sebagai pembanding.

Proses pengoperasian (*running*) dilakukan dengan kondisi aliran *clear water scour* ($\frac{v}{v_c} < 1$). *Running* dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap abutmen. *Running* dimulai dengan mengalirkan air di dalam bak penampungan ke dalam *flume*. Debit aliran dihitung dengan menggunakan pintu air Thompson yang diletakkan di hulu *flume*, debit aliran pada penelitian ini adalah 2,65 l/det. *Running* dilakukan selama 60 menit setiap kali *running* dan diupayakan memiliki ketinggian yang sama yaitu 30 cm. Perilaku gerusan diamati dengan melihat kedalaman dan distribusi gerusan. Kedalaman gerusan diukur dengan menggunakan *point gauge* dengan alat bantu *grid*. Pencatatan kedalaman gerusan

setiap kali *running* dilakukan sebanyak 3 kali untuk kemudian dirata-ratakan agar diperoleh hasil yang akurat.

Pengamatan kedalaman gerusan dilakukan pada bagian depan dan samping abutmen, yaitu pada titik 1, 3 dan 4. Kedalaman gerusan pada tiap-tiap abutmen akan dirata-ratakan untuk memperoleh kedalaman gerusan rerata. Setelah itu, dihitung pengurangan kedalaman gerusan akibat efek perlakuan pada abutmen dibandingkan dengan kedalaman gerusan pada abutmen tanpa perlakuan.

Distribusi gerusan diperoleh dari data kontur gerusan di sekitar abutmen yang diukur pada 59 titik pengamatan sesuai dengan *grid* yang digunakan (Gambar 2). Pengukuran ini dilakukan setelah *running* selesai dan dalam keadaan tidak ada aliran, agar tidak terjadi perubahan kontur akibat adanya aliran air. Pengukuran gerusan pada setiap kali *running* juga dilakukan sebanyak kali untuk menghindari terjadinya kekeliruan pada saat pengukuran.



Gambar 2 . Titik pengamatan

Kedalaman gerusan juga dihitung berdasarkan persamaan Froehlich's (1989) untuk $L/y < 25$ dan persamaan HIRE (Richardson, Simon, dan Julien 1990) untuk $L/y > 25$

yang direkomendasikan dalam *Hydraulic Engineering Circular No. 18* (Richardson dan Davis, 2001). Bentuk umum persamaan Froehlich's adalah:

$$\frac{Y_s}{Y_a} = 2,27K_1K_2\left(\frac{L'}{y_a}\right)^{0,43}Fr_1^{0,61} + 1 \quad (1)$$

dengan :

Y_s : kedalaman gerusan (m);

Y_a : kedalaman rerata aliran pada dataran banjir (m);

K_1 : koefisien akibat bentuk abutmen;

K_2 : koefisien akibat sudut peletakan abutmen terhadap arah aliran;

L' : panjang abutmen yang menghalangi aliran (m);

Fr_1 : bilangan Froude aliran di hulu abutmen.

Bentuk umum persamaan HIRE adalah:

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 4Fr_1^{0,33} \left[\frac{K_1}{0,55} \right] K_2 \quad (2)$$

dengan :

Y_s : kedalaman gerusan (m);

Y_1 : kedalaman aliran pada saluran utama (m);

K_1 : koefisien akibat bentuk abutmen;

K_2 : koefisien akibat sudut peletakan abutmen terhadap arah aliran; dan

Fr : bilangan Froude aliran di hulu abutmen.

Nilai K_1 ditentukan berdasarkan tipe abutmen seperti terlihat pada Tabel 2, dan nilai K_2 ditentukan berdasarkan Persamaan 3.

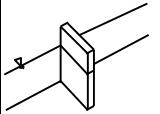
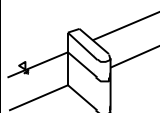
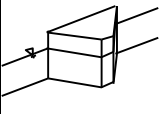
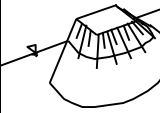
$$K_2 = \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,13} \quad (3)$$

dengan:

$\theta < 90$ jika abutmen mengarah ke hilir; dan

$\theta > 90$ jika abutmen mengarah ke hulu.

Tabel 2 . Nilai K1

No.	Model abutmen	Bentuk abutmen	Koefisien abutmen
1.		<i>Vertical-wall</i>	1,00
2.		<i>Semicircular ended</i>	0,75
3.		<i>45° wing-wall</i>	0,75
4.		<i>Spill-through with slope</i> <i>horizontal:vertical</i> 0,5 : 1 1 : 1 1,5 : 1	0,60 0,50 0,45

Sumber: Barbhuiya dan Dey (2004)

3. HASIL PEMBAHASAN

Kedalaman Gerusan

Hasil pengukuran kedalaman gerusan dapat dilihat pada Tabel 3.

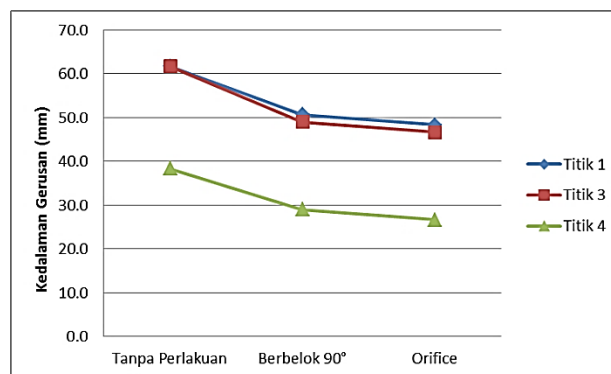
Tabel 3. Hasil Pengukuran

Abutmen		Kedalaman gerusan, ds (mm)			
		Run 1	Run 2	Run 3	Rata-rata
Titik 1	Tanpa perlakuan	60	60	65	61.7
	Berbelok 90°	55	54	43	50.7
	Orifice	50	50	45	48.3
Titik 3	Tanpa perlakuan	60	60	65	61.7
	Berbelok 90°	55	47	45	49.0
	Orifice	50	40	50	46.7
Titik 4	Tanpa perlakuan	40	35	40	38.3
	Berbelok 90°	30	37	20	29.0
	Orifice	30	25	25	26.7

Besarnya kedalaman gerusan yang terjadi bervariasi di setiap titik pengamatan. Penggerusan bergerak cepat di awal proses *running* dan melambat seiring penambahan waktu. Setelah 60 menit pengaliran, dianggap kondisi pengaliran dan transportasi sedimen mulai stabil sehingga efek gerusan lokal dapat diamati.

Gerusan terbesar pada ketiga model abutmen terjadi pada bagian depan abutmen, yaitu pada titik 1 dan 3. Hal ini terjadi akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran terhalang oleh abutmen tersebut. Terhalangnya aliran menyebabkan aliran berubah arah menuju ke bawah, sehingga menyebabkan adanya lubang gerusan.

Pada titik 1 dan 3 abutmen tanpa perlakuan, kedalaman gerusan bernilai sama sebesar 61,7 mm karena keduanya terletak pada bagian depan yang langsung dihantam oleh aliran air. Pada abutmen berorifice dan abutmen berbelok, nilai gerusan pada titik 1 dan 3 berbeda karena telah ada efek perlakuan pada abutmen yang mempengaruhi aliran air di sekitar abutmen.



Gambar 3 . Hubungan Kedalaman Gerusan dengan Perlakuan Abutmen

Berdasarkan Gambar 3, terlihat adanya pengurangan kedalaman gerusan akibat perlakuan pada abutmen. Pada perlakuan pertama berupa pembelokan abutmen, kedalaman gerusan pada titik 1, 3, dan 4 berturut-turut berkurang sebanyak 17,8 %, 20,5 %, dan 24,3 % dibandingkan dengan abutmen tanpa perlakuan. Pengurangan ini terjadi karena berkurangnya luas permukaan tumbukan air akibat dibelokkannya abutmen. Luas permukaan tumbukan yang sebelumnya sebesar 12 cm kemudian setelah dibelokkan menjadi

4,5 cm. Gaya tumbukan yang diterima oleh abutmen menjadi berkurang karena luas bidang tumbuknya berkurang. Akibatnya aliran yang terhalang oleh abutmen pun berkurang sehingga memperkecil aliran yang menuju dasar sungai dan memperkecil lubang gerusan.

Pada perlakuan kedua, yaitu dengan penempatan *orifice*, kedalaman gerusan pada titik 1, 3, dan 4 berturut-turut berkurang sebanyak 21,6 %, 24,3 %, dan 30,4 %. Hal ini terjadi karena *orifice* ditempatkan pada 0,8 h, yang merupakan kecepatan maksimum aliran pada saluran terbuka. Aliran dengan kecepatan maksimum ini tidak terhalang oleh abutmen dan tetap mengalir melalui *orifice*, sehingga aliran yang terhalang bukanlah merupakan aliran maksimum yang mempunyai efek maksimal. Oleh sebab itu, aliran yang bergerak menuju ke bawah pun menjadi berkurang.

Berdasarkan nilai L/y , abutmen yang digunakan tergolong pada abutmen pendek dengan nilai kedalaman gerusan yang mendekati nilai L . Nilai K_1 untuk abutmen dengan perlakuan ditentukan berdasarkan data kedalaman gerusan pada titik 3. Hasil perhitungan kedalaman gerusan dan nilai K_1 ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan

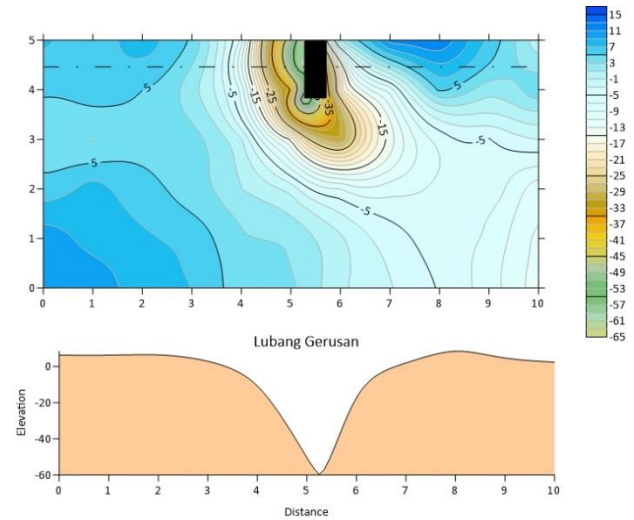
Abutmen	Kedalaman gerusan (mm)		K_1
	Pengukuran	Perhitungan	
Tanpa perlakuan	61,7	344,6	1,00
Berbelok 90°	49,0	323,2	0,79
<i>Orifice</i>	46,7	333,9	0,76

Dari hasil pengukuran, abutmen yang dibelokkan 90° merupakan yang paling efektif dalam mengurangi gerusan. tetapi jika ditinjau dari hasil perhitungan, efek pengurangan gerusan terbesar diperoleh dengan penempatan *orifice*. Secara keseluruhan, kedua perlakuan pada abutmen memberikan efek positif dalam mengurangi kedalaman gerusan.

Distribusi Gerusan

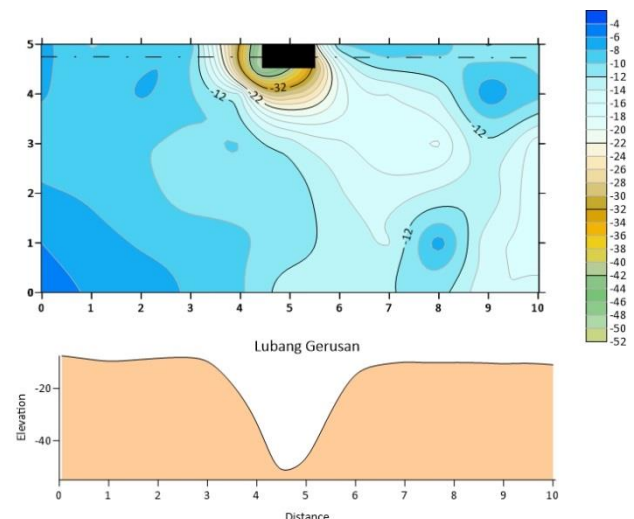
Distribusi gerusan ditampilkan dalam bentuk kontur gerusan berdasarkan data kedalaman gerusan yang diamati pada 59 titik pengamatan dengan bantuan *grid*. Distribusi gerusan

yang ditampilkan adalah nilai rata-rata dari ketiga *running*. Distribusi gerusan dapat dilihat pada Gambar 4 hingga Gambar 6.



Gambar 4. Distribusi gerusan abutmen tanpa perlakuan

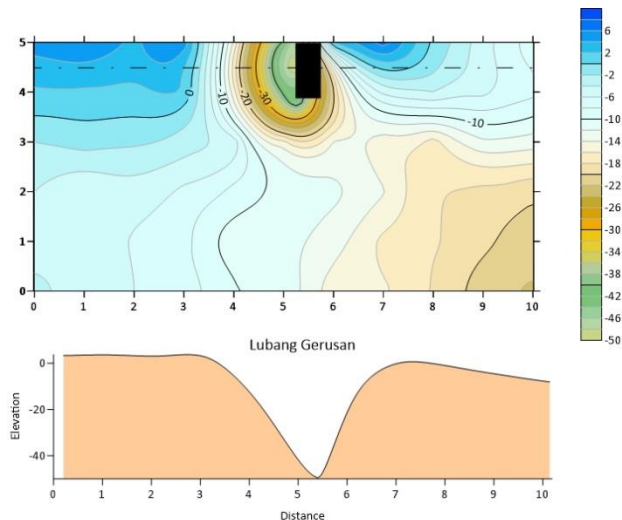
Gerusan yang terjadi cenderung terpusat di daerah sekitar abutmen dan mengarah ke hilir. Pada abutmen tanpa perlakuan (Gambar 4), terlihat adanya proses deposisi sedimen pada bagian hulu sungai dan gerusan pada bagian hilir, dimana jumlah material yang terdeposisi dan tergerus memiliki kedalaman yang sama. Lubang gerusan yang terjadi cukup besar dengan kedalaman gerusan maksimum adalah 61,7 mm.



Gambar 5. Distribusi gerusan abutmen berbelok 90°

Pada abutmen yang dibelokkan 90°, gerusan terfokus pada sekitar abutmen. Lubang gerusan yang terjadi

lebih kecil dibandingkan dengan kondisi pada abutmen tanpa perlakuan. Kedalaman maksimum gerusan adalah 50,7 mm. Bagian hulu dan hilir mengalami gerusan dengan kedalaman yang hampir sama.



Gambar 6. Distribusi gerusan abutmen dengan *orifice*

Pada abutmen dengan *orifice*, gerusan terpusat di sekitar abutmen dan menyebar ke arah samping dan hilir sungai. Lubang gerusan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan abutmen tanpa perlakuan, dengan kedalaman gerusan maksimum adalah 48,3 mm.

Akibat adanya perlakuan pada abutmen, terlihat adanya perubahan pola distribusi gerusan. Pada abutmen tanpa perlakuan, gerusan terfokus hanya pada bagian bawah abutmen, setelah adanya perlakuan, gerusan mulai menyebar dan tidak terfokus lagi pada bagian bawah abutmen. Lebar gerusan yang terjadi juga semakin mengecil. Hal ini diperkirakan karena perubahan luas permukaan tumbukan air dan juga penempatan *orifice* pada abutmen menyebabkan perubahan pola aliran yang juga berakibat pada berubahnya pola gerusan yang terjadi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Gerusan maksimum terjadi pada bagian depan abutmen.
2. Gerusan pada abutmen tanpa perlakuan di titik 1, 3, dan 4 berturut-turut adalah 61,7 mm; 61,7 mm; dan

38,3 mm. Gerusan pada abutmen berbelok 90° di titik 1, 3, dan 4 berturut-turut adalah 50,7 mm; 49,0 mm; dan 29,0 mm. Sedangkan gerusan pada abutmen dengan *orifice* di titik 1, 3, dan 4 berturut-turut adalah 48,3 mm; 46,7 mm; dan 26,7 mm.

3. Perlakuan pada abutmen berpengaruh terhadap kedalaman gerusan yang terjadi. Akibat dibelokkan 90°, kedalaman gerusan pada titik 1, 3, dan 4 berturut-turut berkurang sebanyak 17,8 %, 20,5 %, dan 24,3 %; sedangkan akibat penempatan *orifice*, kedalaman gerusan pada titik 1, 3, dan 4 berturut-turut berkurang sebanyak 21,6 %, 24,3 %, dan 30,4 %.
4. Perlakuan pada abutmen merubah pola distribusi gerusan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdurrosyid, J. dan A. K. Fatchan. 2007. *Gerusan di Sekitar Abutmen dan Pengendaliannya pada Kondisi Ada Angkutan Sedimen untuk Saluran Berbentuk Majemuk*. Dinamika TEKNIK SIPIL, Vol.7, No.1, halaman 20-29.
- [2]. Akib, S.,N.L. Mamat, H. Basser, A. Jahangirzadeh. (2014). *Reducing local scouring at bridge piles using collars and geobags*. Sci World J (2014), pp. 1-7
- [3]. Barbhuiya, A. K dan S. Dey. 2004. *Local Scour at Abutments: A Review*. Sadhana Vol 29, Part 5, halaman 449 – 476. India: Springer.
- [4]. Elnikhely, E. A. 2014. *Control of local scour at a bridge abutment using a protective pile*. J Eng Sci, Assiut Univ Faculty Eng, 42 (4), pp. 956-967.
- [5]. Elnikhely, E. A. 2017. *Minimizing Scour Around Bridge Pile Using Holes*. Ain Shams Engineering Journal, 8 (4), pp. 499-506.
- [6]. Kumcu, S.Y., M. A. Kokpinar, dan M. Gogus.

2014. *Scour Protection around Vertical-Wall Bridge Abutments with Collars*. KSCE J Civ Eng, 18: 1884.
- [7]. Lutjito dan Sudiyono, A. D. 2016. *Upaya Pengendalian Gerusan di Sekitar butmen Jembatan*. INformasi dan Ekspose hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur 12 (1), 70-77.
- [8]. Masjedi, A., M. S. Bejestan dan A. Esfandi. 2010. *Reduction of Local Scour at A Bridge Pier Fitted with A Collar in A 180 Degree Flume Bend (Case Study: Oblong Pier)*. Journal of Hydrodynamics, Science Direct, 22 (5), pp. 669-673.
- [9]. Melville B. W. dan S. E. Coleman. 2000. *Bridge Scour*. Colorado: Water Resources Publications, LLC
- [10]. Purnomo, S. N., Nasta'in, Widiyanto, W., dan Salsabilla, L. 2016. *Efektivitas Bentuk Abutmen terhadap Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan*. Jurnal Teknik Sipil, Vol 13, No.4, halaman 323-331. Purbalingga: FT Unsoed.
- [11]. Purwantoro, Didik. 2015. *Model Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Pemasangan Groundsill dan Abutmen Bersayap*. INformasi dan Ekspose hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur 11 (1), 79-89.
- [12]. Richardson E. V. dan S. R. Davis. 2001. *Evaluating Scour at Bridges Fourth Edition*. Hydraulic Engineering Circular 18, Federal Highway Administration Publication No. FHWA NHI 01-001. Washington, D.C : U. S. Department of Transportation.
- [13]. Rustiati, Nina Bariroh. 2007. *Gerusan Lokal Disekitar Abutment Jembatan Labuan*. Jurnal Smartek, Vol. 5, No. 3, Agustus 2007: 157 – 165.
- [14]. Shaskia, N., M. Rizalihadi, Nurisra, Yunita, H. 2016. *Pengamatan Pola dan Kedalaman Gerusan Lokal (Local Scour) pada Model Abutmen Jembatan yang Berlubang (Orifice)*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 10. Halaman 421-428. Yogyakarta.