

# ANALISIS PENANGANAN DAMPAK BAHAYA GERUSAN ALIRAN SUNGAI PADA STRUKTUR PILAR JEMBATAN (ANALYSIS OF THE RIVER FLOW SCOURING HAZARD COUNTERMEASURES ON BRIDGE PIER STRUCTURES)

N. Retno Setiati<sup>1)</sup>, Ireng Guntorojati<sup>2)</sup>, Elis Kurniawati<sup>3)</sup>

<sup>1)3)</sup>Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, <sup>2)</sup>PT. Wiratman Chodai Indonesia

<sup>1)3)</sup>Jl. A.H. Nasution No. 264, Bandung 40294, <sup>2)</sup>Jl. T.B. Simatupang Kav. 38 Jakarta

e-mail: <sup>1)</sup>retno.setiati@pusjatan.pu.go.id, <sup>2)</sup>ireng\_guntorojati@wiratman.co.id, <sup>3)</sup>elis.kurniawati@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 25 Februari 2019; direvisi: 22 Juni 2019; disetujui: 25 Juni 2019.

## ABSTRAK

Pilar merupakan bagian dari struktur jembatan yang rawan terhadap bahaya gerusan. Proses gerusan dapat menyebabkan terjadinya kegagalan struktur jembatan dan mengganggu aksesibilitas di sekitar wilayah jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi bahaya gerusan aliran sungai yang terjadi pada struktur jembatan Cipamingkis di Kabupaten Bogor dalam beberapa periode ulang tertentu. Jembatan Cipamingkis telah diperkuat dengan penggantian dua bentang gelagar beton menjadi satu bentang rangka baja dengan penambahan dimensi pilar. Analisis perhitungan untuk menentukan potensi gerusan dilakukan dengan menggunakan program HEC-RAS. Pemodelan dibuat untuk dua kondisi yaitu kondisi aliran sungai sebelum jembatan runtuh dan setelah jembatan diperbaiki. Parameter yang digunakan dalam analisis potensi gerusan terdiri dari bentuk pilar, debit air, kecepatan aliran air sungai, kondisi dasar sungai, dan material dasar sungai. Hasil analisis yang diperoleh dari program HEC-RAS kemudian dibandingkan dengan beberapa metode empiris antara lain Lauren dan Toch, Froehlich, dan CSU. Kedalaman gerusan berdasarkan metode CSU memberikan hasil yang paling besar dibandingkan dengan metode lain. Hasil perhitungan empiris dengan metode CSU memberikan nilai kedalaman gerusan sebesar 5,64 m untuk periode ulang 100 tahun. Nilai tersebut dapat digunakan pada perhitungan awal desain pilar jembatan karena memberikan hasil yang paling konservatif. Namun untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, nilai tersebut perlu dibandingkan dengan hasil pengukuran gerusan secara langsung di lapangan.

**Kata kunci:** gerusan, pilar, HEC-RAS, jembatan, aliran sungai

## ABSTRACT

Pier is part of the bridge structure which is vulnerable to the scouring hazard. The scour process on the pier can cause bridge failure and thus disturb its surrounding accessibility. This study aim to determine the potential hazard of river flow scour that occur in the Cipamingkis bridge in Bogor regency for several return periods. Cipamingkis bridge already been strengthened by the replacement of two span of girder with one span of truss system with addition of pier dimension. Analysis to determine the potential of scouring was carried out using the HEC-RAS program. Modeling was made for two conditions, river flow condition before the bridge collapsed and after the bridge was repaired. Several parameters used in the analysis of scour potential consist of pier shape, water flow, water velocity, riverbed conditions, and riverbed material are take into account. The analysis results obtained from the HEC-RAS program are then compared with some empirical methods such as Lauren and Toch, Froehlich, and CSU. Scour depth based on the CSU method gives the greatest results compared to other methods. The results of empirical calculations using the CSU method give a scour depth of 5,64 m for a 100 year return period. This value can be used in the preliminary design of bridge pier as it gives the most conservative results. Nevertheless to obtain the more accurate results, this value need to be compared with the field measurement results.

**Keywords:** scour, pier, HEC-RAS, bridge, river flow

## PENDAHULUAN

Pilar jembatan berfungsi untuk memikul beban yang bekerja pada jembatan. Mengingat letak pilar yang berada pada aliran air sungai, maka dasar sungai di sekitar pilar memiliki potensi mengalami gerusan lokal. Jika gerusan lokal di sekitar pilar terjadi dalam jangka waktu yang panjang, maka kedalaman gerusan di sekitar pilar semakin dalam, sehingga dapat mengakibatkan rusak atau robohnya konstruksi jembatan (Purnomo dkk. 2017). Peristiwa tersebut terjadi pada jembatan Cipamingkis yang runtuh pada tahun 2017. Turunnya pilar jembatan Cipamingkis ditunjukkan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Pilar jembatan Cipamingkis mengalami penurunan

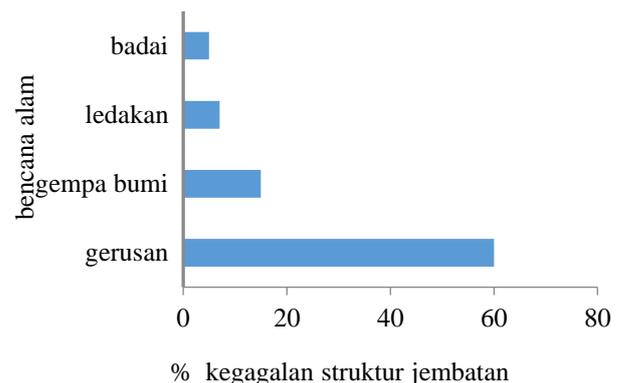
Jembatan Cipamingkis terletak pada koordinat LS  $06^{\circ} 28,45' 41''$  dan LU  $107^{\circ} 04,29' 23''$  dan merupakan salah satu jembatan yang melintas di sungai Cipamingkis, Kabupaten Bogor. Salah satu permasalahan yang terdapat pada jembatan ini adalah gerusan pada tanah dasar di daerah pilar jembatan. Berdasarkan beberapa hasil survei diketahui bahwa gerusan tanah akibat aliran sungai menyebabkan keruntuhan pada pilar jembatan. Keruntuhan terjadi akibat gerusan tanah yang menyebabkan pondasi kehilangan tahanan friksi. Setelah terjadinya keruntuhan jembatan, upaya perbaikan jembatan telah dilakukan dengan membangun konstruksi jembatan rangka baja untuk menggantikan ruas jembatan yang runtuh. Beberapa sumber menyebutkan bahwa penanganan jembatan Cipamingkis yaitu berupa perkuatan pilar dan penggantian gelagar. Pilar mengalami penurunan tidak digunakan lagi dan dua bentang jembatan yang turun diganti dengan satu bentang konstruksi rangka baja 60 meter.

Untuk mengantisipasi terjadinya keruntuhan jembatan secara tiba-tiba di lokasi tersebut, maka diperlukan analisis gerusan tanah akibat aliran sungai untuk beberapa periode ulang banjir.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi bahaya gerusan aliran sungai yang terjadi pada struktur jembatan Cipamingkis sebelum dan sesudah jembatan tersebut diperbaiki. Analisis dilakukan dengan menggunakan program HEC-RAS. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan beberapa perhitungan empiris. Setelah diketahui potensi bahaya gerusan dalam periode tertentu, maka akan dapat ditentukan beberapa alternatif perbaikan atau perkuatan pada pilar yang perlu dilakukan agar jembatan tidak kembali runtuh.

## KAJIAN PUSTAKA

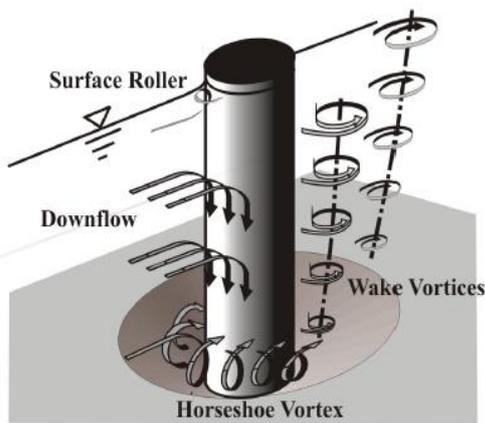
Menurut data statistik dunia yang dikumpulkan oleh Imhof (2004) dalam penelitiannya, faktor utama penyebab terjadinya kegagalan struktur adalah akibat bencana alam (gempa, badai, banjir/gerusan, letusan gunung berapi, maupun tsunami). Dari beberapa bencana alam yang terjadi, kerusakan struktur jembatan akibat banjir/gerusan menempati urutan pertama penyebab terjadinya kegagalan. Persentase kegagalan struktur jembatan akibat bencana ditunjukkan dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Persentase kegagalan struktur jembatan akibat bencana alam (Imhof 2004)

Berdasarkan Gambar 2, 60% kerusakan struktur jembatan diakibatkan oleh gerusan. Gerusan merupakan salah satu faktor utama penyebab kerusakan jembatan, terutama di bagian pilar

dan kepala jembatan. Gerusan lokal pada bangunan jembatan disebabkan oleh pusaran arus berbentuk tapal kuda yang mengelilingi sekitar badan bangunan tepatnya di dasar sungai. Pusaran tersebut akan menggerakkan material dasar dan membawanya ke tempat lain, hal ini terjadi karena perpindahan material dasar yang keluar lebih besar dibandingkan dengan pusaran material yang tetap ditempatnya, sehingga timbul lubang gerusan (Taguchi dan Sykes 2013). Gerusan lokal umumnya terjadi pada alur sungai yang terhalang pilar jembatan sehingga menyebabkan adanya pusaran. Pusaran tersebut terjadi pada bagian hulu pilar (Melville 1987). Skematik terjadinya gerusan pada pilar ditunjukkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Mekanisme terjadinya gerusan lokal pada pilar jembatan (Melville 2006)

Beberapa faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan adalah kecepatan aliran, kedalaman aliran, ukuran butiran material dasar sungai, posisi pilar (sudut kemiringan pilar), dan bentuk pilar. Untuk mendapatkan perkiraan kedalaman gerusan di sekitar pilar secara empiris dapat digunakan beberapa metode (Sheppard, Melville, and Demir 2014) antara lain :

**Metode Laursen dan Toch**

Laursen dan Toch (1956) mengembangkan persamaan gerusan yang terjadi pada pilar jembatan sebagai fungsi lebar pilar dan kedalaman aliran sesuai Persamaan (1).

$$d_s = 1,35 b^{0,7} y^{0,3} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$d_s$  : kedalaman gerusan (m)

$b$  : lebar pilar (m)  
 $y$  : kedalaman aliran (m)

**Metode Froehlich**

Metode ini dikembangkan oleh Dr. David Froehlich (1988). Beliau mengatakan bahwa kedalaman gerusan adalah fungsi dari bilangan Froude, lebar pilar, sudut aliran, jenis pilar, dan ukuran butiran seperti ditunjukkan dalam Persamaan (2).

$$d_s = 0,32 b K \left\{ \frac{b'}{b} \right\}^{0,02} \left\{ \frac{y}{b} \right\}^{0,46} f_r^{0,2} \left\{ \frac{b}{D_{50}} \right\}^{0,08} + 1$$

$$b' = b \cos \theta + l \sin \theta \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

$d_s$  : kedalaman gerusan (m)  
 $b$  : lebar pilar (m)  
 $y$  : kedalaman aliran (m)  
 $f_r$  : bilangan Froude  
 $\theta$  : sudut aliran  
 $l$  : panjang pilar (m)  
 $D_{50}$  : ukuran butiran (m)  
 $K$  : koefisien jenis pilar

Koefisien jenis pilar bernilai  $K=1,3$  untuk pilar berujung kotak,  $K=1,0$  untuk pilar bulat dan berujung bulat,  $K=0,7$  untuk pilar berujung lancip. Metode Froehlich memberikan hasil yang mendekati dengan hasil pengukuran gerusan di lapangan (Suma, Fuad, dan Liany 2018).

**Metode Colorado State University (CSU)**

Metode CSU dibuat oleh Richardson (1990) di Amerika dengan formulasi sesuai dengan Persamaan (3).

$$d_s = 2y K_1 K_2 K_3 \left\{ \frac{b}{y} \right\}^{0,65} f_r^{0,43} \dots\dots(3)$$

Keterangan:

$d_s$  : kedalaman gerusan (m)  
 $b$  : lebar pilar (m)  
 $y$  : kedalaman aliran (m)  
 $f_r$  : bilangan Froude  
 $\theta$  : sudut aliran  
 $K_1$  : koefisien bentuk pilar (Tabel 1)  
 $K_2$  : koefisien sudut aliran (Tabel 2)  
 $K_3$  : koefisien kondisi dasar saluran (Tabel 3)

Koefisien  $K_1$ ,  $K_2$ , dan  $K_3$  ditunjukkan dalam Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

**Tabel 1.** Koefisien koreksi bentuk pilar ( $K_1$ )

No.	Bentuk ujung pilar	$K_1$
1	Persegi	1,1
2	Bulat	1,0
3	Lingkaran silinder	1,0
4	Kumpulan silinder	1,0
5	Tajam	0,9

Sumber: (Melville dan Sutherland 1988)

**Tabel 2.** Koefisien koreksi sudut aliran ( $K_2$ )

No.	Sudut aliran (°)	l/b=4	l/b=8	l/b=12
1	0	1,0	1,0	1,0
2	15	1,0	2,0	2,5
3	30	2,0	2,5	3,5
4	45	2,3	3,3	4,3
5	90	2,5	3,9	5,0

Sumber: (Melville dan Sutherland 1988)

**Tabel 3.** Koefisien koreksi kondisi dasar saluran ( $K_3$ )

No.	Kondisi saluran	Ukuran (m)	$K_3$
1	Gerusan air jernih	-	1,1
2	Dasar rata	-	1,1
3	Gundukan kecil	0,6 – 3,0	1,1
4	Gundukan sedang	3,0 – 9,1	1,1 – 1,2
5	Gundukan besar	>9,1	1,3

Sumber: (Melville dan Sutherland 1988)

Menurut (Chanson 2004), bilangan *Froude* pada Rumus (2) dan Rumus (3) adalah perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya gravitasi. Bilangan *Froude* merupakan fungsi dari semua peristiwa pola aliran yang berada dalam saluran. Bilangan *Froude* ( $Fr$ ) dapat digunakan dalam menentukan kondisi aliran. Aliran dapat dikategorikan sebagai aliran kritis apabila  $Fr = 1$ . Apabila  $Fr < 1$  maka termasuk aliran subkritis. Kemudian jika  $Fr > 1$  maka aliran tersebut termasuk aliran superkritis.

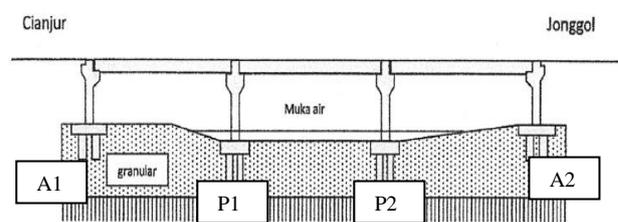
### Kondisi sungai Cipamingkis

Sungai Cipamingkis merupakan sungai besar di Jawa Barat yang berawal dari lereng Gunung Halimun, Gunung Kencana, Gunung Bunder, Gunung Hanjawang, dan Gunung Simeut, yang terletak di Kabupaten Bogor. Secara umum material dasar sungai tersebut didominasi oleh pasir, kerikil, dan batu cadas.

Kondisi material tersebut banyak dimanfaatkan oleh masyarakat setempat sebagai bahan bangunan. Pemanfaatan material dasar sungai oleh masyarakat tersebut membawa dampak terhadap besarnya penurunan dasar sungai (Ditjen SDA 2016).

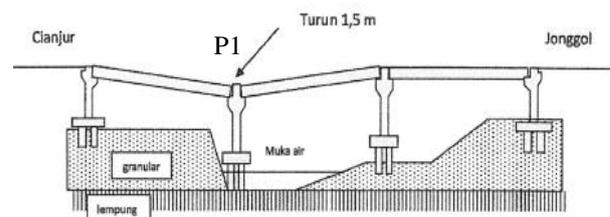
### Data sekunder jembatan Cipamingkis

Sebelum peristiwa keruntuhan pada tahun 2017, jembatan Cipamingkis terdiri atas tiga bentang dengan panjang bentang masing-masing 30 meter. Skema jembatan Cipamingkis sebelum runtuh ditunjukkan dalam Gambar 4.



**Gambar 4.** Sketsa jembatan Cipamingkis sebelum runtuh

Berdasarkan data teknis, lebar dan tinggi kepala tiang masing-masing adalah 9,5 m dan 4 m. Struktur pilar berbentuk silinder dengan diameter sebesar 2 m. Setelah pilar P1 mengalami penurunan (Gambar 5), perbaikan dengan gelagar rangka baja dilakukan pada kepala jembatan A1 dan pilar P2.



**Gambar 5.** Sketsa penurunan pilar P1

Berdasarkan Gambar 5, penyebab turunnya pilar (P1) adalah akibat gerusan lokal yang terjadi di sekitar jembatan.

### HIPOTESIS

Hasil perhitungan kedalaman gerusan dengan HEC-RAS akan cenderung memberikan hasil yang lebih rendah dibandingkan dengan metode empiris.

## METODOLOGI

Analisis gerusan dilakukan dengan menggunakan program HEC-RAS (*Hydrology Engineering Center's River Analysis System*). Pemodelan dan analisis gerusan dilakukan untuk dua kondisi, yaitu:

- 1) Kondisi profil sungai dengan jembatan sebelum runtuh,
- 2) Kondisi profil sungai dengan jembatan setelah diperbaiki.

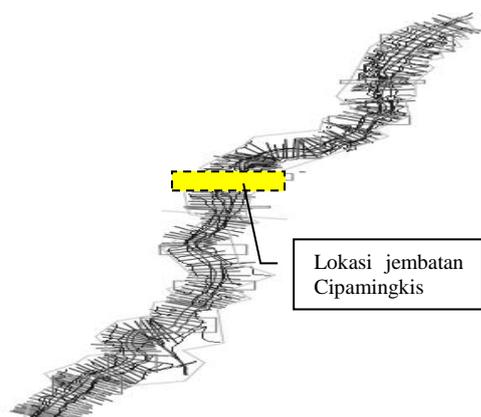
Adapun pada lokasi potongan melintang sungai dimodelkan jembatan sesuai dengan dimensi yang sudah diketahui. Pemodelan aliran sungai menggunakan debit rencana sebagai input pada program HEC-RAS. Adapun debit rencana yang digunakan adalah debit dengan periode ulang 2, 10, 25, 50, dan 100 tahun.

## HASIL DAN ANALISIS

Analisis dilakukan untuk mengetahui potensi gerusan sungai pada lokasi sekitar jembatan Sta (1+200) (hulu) dan Sta (1+100) (hilir) dengan kondisi jembatan sebelum runtuh dan setelah diperbaiki.

### Analisis pemodelan sungai Cipamingkis

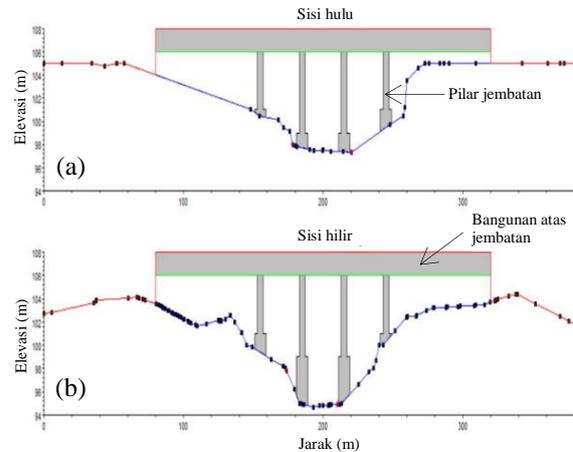
Bentuk skematik sungai Cipamingkis dibuat berdasarkan titik-titik koordinat sungai hasil pengukuran lapangan dalam survei topografi seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.



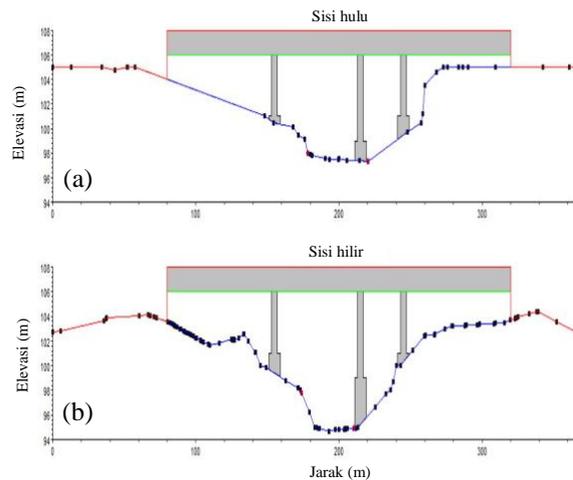
Gambar 6. Skematik sungai di sekitar lokasi jembatan

Dari Gambar 6, lokasi jembatan Cipamingkis berada diantara Sta (1+100) dan Sta (1+200) sehingga dibutuhkan gambar potongan melintang pada lokasi tersebut. Pada lokasi potongan melintang dimodelkan jembatan sesuai dengan dimensi profil jembatan. Hasil

pemodelan jembatan ditunjukkan dalam Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Potongan melintang sungai dan jembatan Cipamingkis sebelum runtuh (3 bentang) pada lokasi a. Sta (1+200) (hulu) dan b. Sta (1+100) (hilir)



Gambar 8. Potongan melintang sungai dan jembatan Cipamingkis setelah diperbaiki (2 bentang) pada lokasi a. Sta (1+200) (hulu) dan b. Sta (1+100) (hilir)

Setelah diperoleh profil melintang sungai dan jembatan kemudian ditentukan debit rencana dengan periode ulang 2, 10, 25, 50, dan 100 tahun sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4. Tipe *boundary condition* yang digunakan dalam pemodelan program HEC-RAS adalah *critical depth*.

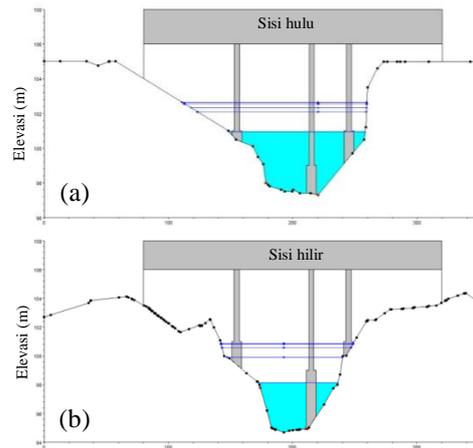
**Tabel 4.** Debit banjir rencana

No.	Periode ulang (tahun)	Debit banjir rencana (m <sup>3</sup> /detik)
1	2	586,24
2	10	1294,94
3	25	1687,55
4	50	1850,39
5	100	2058,64

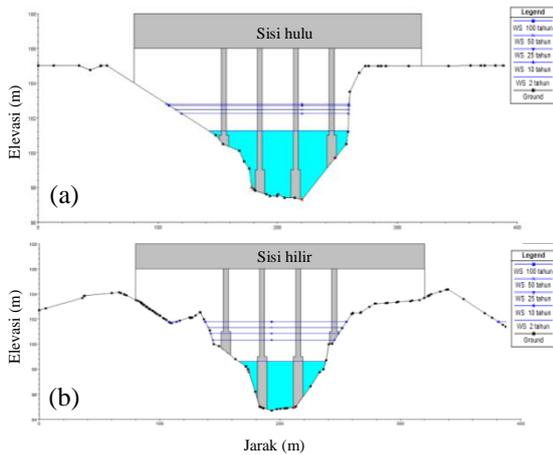
Sumber: (KOMINFO 2017)

**Analisis hidrolika**

Setelah ditentukan pemodelan aliran dan profil sungai dengan jembatan maka dilakukan analisis hidrolika untuk menentukan karakteristik aliran dari kedua kondisi yang telah dimodelkan. Gambar 9 dan Gambar 10 merupakan potongan melintang sungai untuk kedua kondisi pemodelan.



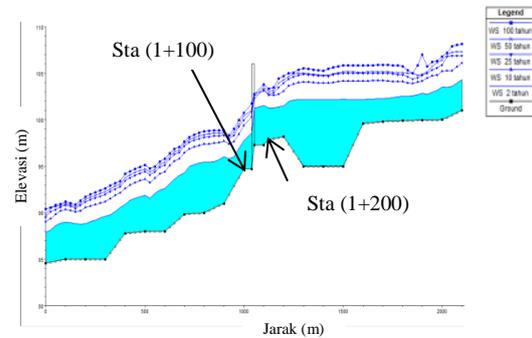
**Gambar 10.** Potongan melintang dengan debit air sungai Cipamingkis setelah jembatan diperbaiki (2 bentang)



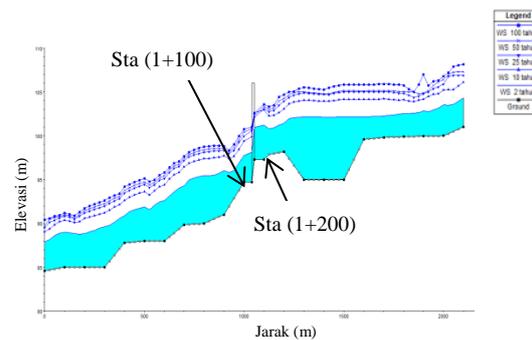
**Gambar 9.** Potongan melintang dengan debit air sungai Cipamingkis sebelum jembatan runtuh (3 bentang) pada a. sisi hulu dan b. sisi hilir jembatan

Untuk potongan memanjang aliran sungai dalam periode 2 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun untuk kedua kondisi ditunjukkan dalam Gambar 11 dan Gambar 12.

Selain potongan melintang dan memanjang, hal yang perlu diperhatikan adalah karakteristik aliran di sekitar jembatan. Hasil analisis karakteristik tersebut ditampilkan pada Tabel 5 dan Tabel 6. Karakteristik aliran diklasifikasikan berdasarkan data kedalaman aliran, kecepatan aliran, bilangan *Froude*, dan besarnya gerusan pada periode 2 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun.



**Gambar 11.** Potongan memanjang aliran sungai sebelum jembatan runtuh untuk periode 2 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun



**Gambar 12.** Potongan memanjang aliran sungai setelah jembatan diperbaiki untuk periode 2 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun

Berdasarkan Tabel 5 secara umum untuk semua periode ulang, kecepatan aliran mengalami peningkatan yang signifikan pada kondisi sebelum jembatan runtuh. Perubahan kedalaman dari hulu ke hilir menjadi lebih

rendah diindikasikan oleh luas aliran yang berkurang.

Bilangan *Froude* untuk periode 2 tahun pada bagian hulu (Sta (1+200)) bersifat subkritis ( $Fr = 0,36 < 1$ ) dan setelah di bagian hilir berubah menjadi aliran kritis ( $Fr = 1$ ). Sedangkan untuk periode ulang 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun aliran sudah menjadi tenang (subkritis dengan  $Fr < 1$ ). Luas aliran untuk setiap periode waktu semakin lama semakin bertambah.

Berdasarkan Tabel 6, karakteristik aliran sungai Cipamingkis setelah jembatan diperbaiki mempunyai sifat yang serupa dengan kondisi sebelum jembatan runtuh. Setelah semua parameter diketahui maka dapat ditentukan kedalaman gerusan pada pilar untuk beberapa periode tahunan.

**Tabel 5.** Karakteristik aliran sungai Cipamingkis sebelum jembatan runtuh

Periode ulang	Lokasi	Karakteristik aliran		
		Luas aliran (m <sup>2</sup> )	Kecepatan (m/dtk)	<i>Fr</i>
2	Sta 1+200	312,66	2,26	0,36
	Sta 1+100	127,18	4,98	1,00
10	Sta 1+200	541,20	3,00	0,40
	Sta 1+100	246,54	5,95	0,93
25	Sta 1+200	564,46	3,77	0,50
	Sta 1+100	293,38	6,63	0,97
50	Sta 1+200	602,19	3,89	0,51
	Sta 1+100	343,46	6,45	0,90
100	Sta 1+200	648,96	4,07	0,52
	Sta 1+100	374,11	6,64	0,90

Keterangan: Sta 1+200 (hulu jembatan), Sta 1+100 (hilir jembatan)

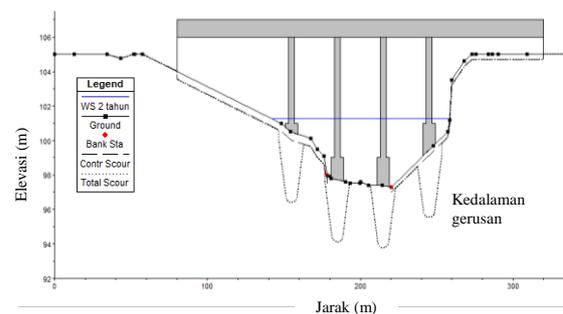
Gambar 13 menunjukkan ilustrasi kedalaman gerusan berdasarkan simulasi dengan data besarnya gerusan yang terjadi pada pilar jembatan Cipamingkis sebelum runtuh ditunjukkan pada Tabel 7. Sedangkan, Tabel 8 memperlihatkan besarnya gerusan setelah jembatan diperbaiki dengan ilustrasi gerusan

pada pilar jembatan setelah diperbaiki ditunjukkan dalam Gambar 14. Hasil simulasi dengan HEC-RAS akan dibandingkan dengan perhitungan empiris yaitu metode *Laursen dan Toch*, metode *Froehlich*, dan metode *CSU* (*Colorado State University*). Perbandingan analisis program HEC-RAS dan metode empiris ditunjukkan di bagian pembahasan.

**Tabel 6.** Karakteristik aliran sungai Cipamingkis setelah jembatan diperbaiki

Periode ulang	Lokasi	Karakteristik aliran		
		Luas aliran (m <sup>2</sup> )	Kecepatan (m/dtk)	<i>Fr</i>
2	Sta 1+200	278,21	2,52	0,42
	Sta 1+100	127,18	4,98	1,00
10	Sta 1+200	509,47	3,18	0,44
	Sta 1+100	246,54	5,95	0,93
25	Sta 1+200	530,52	3,99	0,54
	Sta 1+100	293,38	6,63	0,97
50	Sta 1+200	567,40	4,11	0,55
	Sta 1+100	343,46	6,45	0,90
100	Sta 1+200	613,06	4,27	0,55
	Sta 1+100	374,11	6,64	0,90

Keterangan: Sta 1+200 (hulu jembatan), Sta 1+100 (hilir jembatan)



**Gambar 13.** Skema terjadinya gerusan pada jembatan sebelum runtuh pada sisi hulu jembatan

## PEMBAHASAN

Kondisi penampang sungai sebelum adanya jembatan memiliki kedalaman maksimum 7,8 m terhadap muka air sungai pada lokasi Sta (1+200) arah hulu dan 9,6 m pada lokasi Sta (1+100) arah hilir. Kedalaman sungai di hilir lebih besar dari kedalaman di hulu sungai. Pada penampang sungai tersebut dibangun jembatan Cipamingkis dengan 3 bentang utama (masing-masing 30 meter) dan 4 (empat) pilar. Setelah jembatan runtuh dilakukan perbaikan dengan melakukan sistem perkuatan pada pilar dan mengurangi jumlah pilar. Jumlah bentang utama jembatan Cipamingkis menjadi 2 (dua) dengan masing-masing panjang 60 meter dan 30 meter. Sketsa perbaikan jembatan Cipamingkis ditunjukkan dalam Gambar 15.

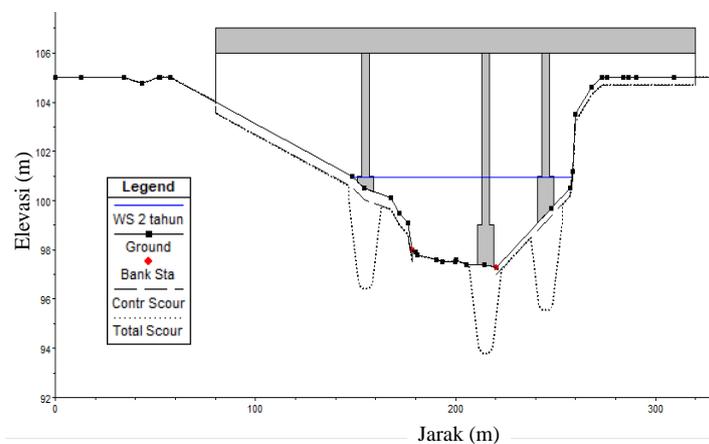
Perkuatan pilar dilakukan dengan penambahan dimensi. Untuk struktur atas, yang semula menggunakan gelagar beton diganti menggunakan tipe rangka baja satu bentang. Setelah dilakukan analisis perkuatan jembatan Cipamingkis oleh Dinas Bina Marga Propinsi Jawa Barat pada tahun 2017, dalam penelitian ini dilakukan analisis kedalaman gerusan pada jembatan tersebut untuk periode waktu tertentu. Berdasarkan analisis hasil program HEC-RAS pada Gambar 7 dan Gambar 8 dapat diketahui potongan melintang sungai Cipamingkis dan kedalaman muka air sungai untuk periode 2 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Tingkat kedalaman muka air sungai terhadap dasar sungai dijabarkan dalam Tabel 9 dan Gambar 16.

**Tabel 7.** Besar gerusan pada pilar jembatan sebelum runtuh (sisi hulu)

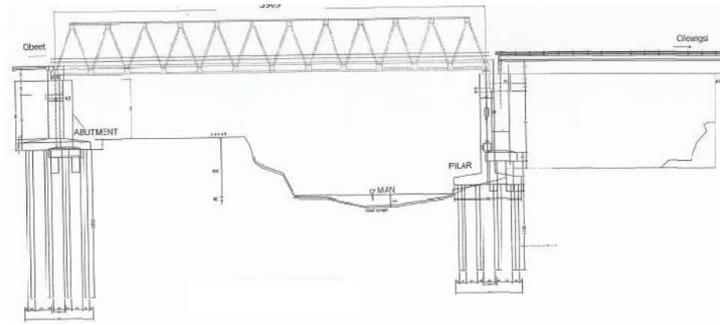
	Periode (tahun)				
	2	10	25	50	100
Kedalaman aliran (m)	3,99	5,61	5,75	5,98	6,11
Debit (m <sup>3</sup> /dtk)	586,24	1294,94	1697,55	1850,39	2058,64
Kecepatan aliran (m/dtk)	2,26	3	3,77	3,89	4,21
Bilangan <i>Froude</i>	0,36	0,40	0,50	0,51	0,54
Gerusan (m)	3,62	4,28	4,73	4,82	4,95

**Tabel 8.** Besar gerusan pada pilar jembatan setelah diperbaiki (sisi hulu)

	Periode (tahun)				
	2	10	25	50	100
Kedalaman aliran (m)	3,70	5,41	5,54	5,77	6,04
Debit (m <sup>3</sup> /dtk)	586,24	1294,94	1697,55	1850,39	2058,64
Kecepatan aliran (m/dtk)	2,52	3,18	3,99	4,11	4,27
Bilangan <i>Froude</i>	0,42	0,44	0,54	0,55	0,55
Gerusan (m)	3,75	4,36	4,83	4,92	5,03



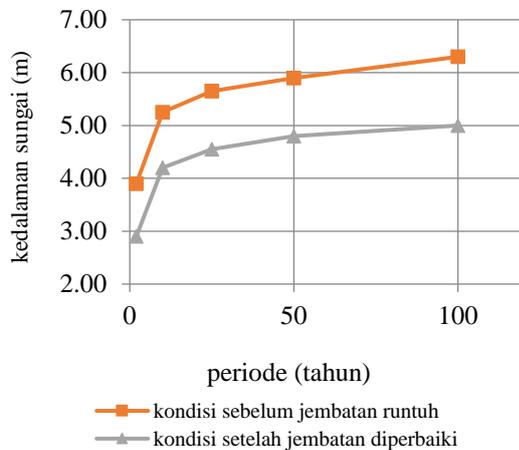
**Gambar 14.** Skema terjadinya gerusan pada jembatan setelah diperbaiki (sisi hulu jembatan)



**Gambar 15.** Skema jembatan setelah diperbaiki (Dinas BM 2017)

**Tabel 9.** Kedalaman elevasi muka air sungai Cipamingkis untuk beberapa kondisi jembatan

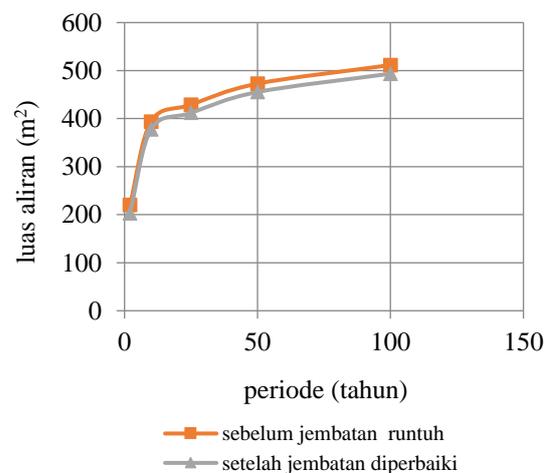
Periode (tahun)	kondisi sebelum jembatan runtuh			kondisi jembatan setelah diperbaiki		
	sta (1+200) hulu	sta (1+100) hilir	kedalaman rata-rata (meter)	sta (1+200) hulu	sta (1+100) hilir	kedalaman rata-rata (meter)
2	3,80	4,00	3,90	3,60	2,20	2,90
10	4,90	5,60	5,25	4,80	3,60	4,20
25	5,20	6,10	5,65	5,00	4,10	4,55
50	5,30	6,50	5,90	5,20	4,40	4,80
100	5,60	7,00	6,30	5,40	4,60	5,00



**Gambar 16.** Grafik hubungan elevasi muka air sungai dan periode waktu

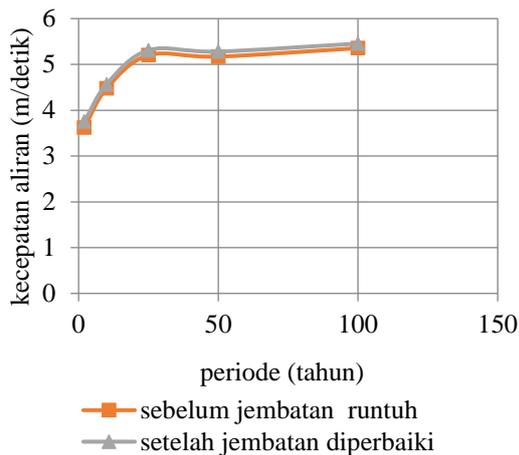
Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 16, elevasi muka air sungai mengalami peningkatan seiring dengan periode waktu. Kedalaman elevasi muka air sungai untuk kondisi setelah jembatan diperbaiki lebih rendah dari kondisi sebelum jembatan Cipamingkis mengalami keruntuhan. Elevasi kedalaman muka air sungai maksimum sebesar 6,3 meter terjadi sebelum jembatan

mengalami runtuh. Kedalaman sungai menjadi berkurang setelah perbaikan jembatan menjadi hanya 5 m. Untuk perubahan luas aliran, besarnya kecepatan aliran, dan bilangan *Froude* pada masing-masing kondisi ditunjukkan dalam Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19.



**Gambar 17.** Grafik hubungan luas aliran terhadap periode waktu

Berdasarkan Gambar 17 luas aliran sungai Cipamingkis untuk kondisi sebelum jembatan runtuh dalam periode waktu tertentu cenderung sama dengan kondisi setelah jembatan diperbaiki. Luas aliran berbanding terbalik dengan kecepatan aliran. Semakin besar luas aliran, maka kecepatan akan semakin kecil. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 18.

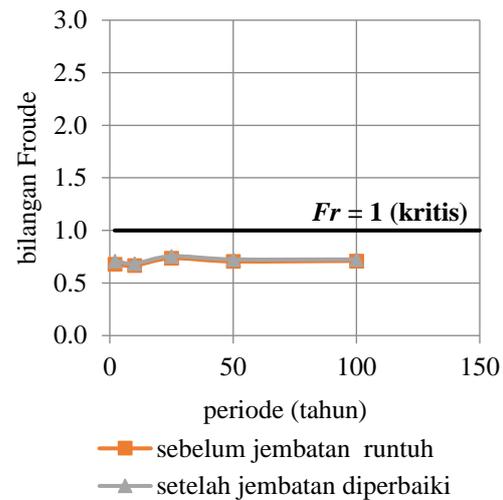


**Gambar 18.** Grafik hubungan kecepatan aliran terhadap periode waktu

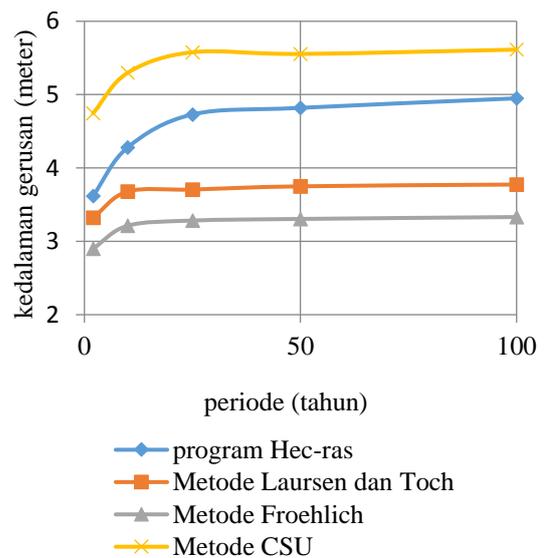
Berdasarkan Gambar 18, kecepatan aliran air pada penampang sungai untuk kondisi sebelum jembatan runtuh cenderung sama dengan setelah jembatan diperbaiki. Untuk mengetahui besarnya bilangan *Froude* dari masing-masing kondisi ditunjukkan dalam Gambar 19.

Dari Gambar 19, bilangan *Froude* untuk kondisi jembatan sebelum runtuh dan setelah diperbaiki mempunyai pola aliran yang tenang (subkritis). Untuk mengetahui perbandingan besarnya gerusan dalam periode waktu tertentu antara hasil analisis program dengan empiris pada kondisi sebelum jembatan runtuh dan setelah jembatan diperbaiki ditunjukkan dalam Gambar 20, Gambar 21, dan Tabel 10.

Dari data hasil survei yang sudah dilakukan, diketahui bahwa diameter butiran sedimen dasar sungai Cipamingkis adalah 0,05 mm dan sudut aliran ( $\theta$ ) sebesar  $90^\circ$ . Bentuk pilar adalah silinder dengan diameter 2 meter sehingga koefisien jenis pilar ( $K=1$ ) (Dirjen SDA 2016).



**Gambar 19.** Grafik hubungan bilangan *Froude* terhadap periode waktu



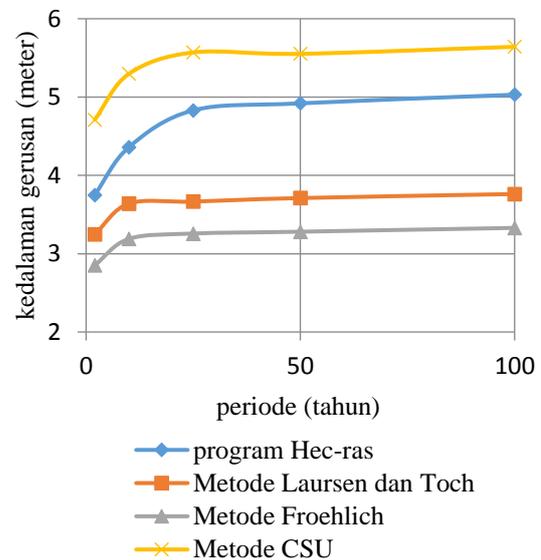
**Gambar 20.** Grafik hubungan kedalaman gerusan terhadap periode waktu sebelum jembatan runtuh berdasarkan simulasi HEC-RAS dan metode empiris

Berdasarkan Gambar 20 dan Tabel 10, hasil analisis kedalaman gerusan dengan metode CSU memberikan hasil yang maksimum, dimana pada periode ulang 100 tahun kedalaman gerusan adalah 5,61 meter. Hasil ini memberikan nilai yang konservatif dibandingkan dengan hasil program dan metode lainnya. Akan tetapi hasil perhitungan kedalaman gerusan dari ketiga metode empiris tersebut sebaiknya disesuaikan dengan hasil

pengukuran langsung di lapangan. Sehingga diperoleh hasil perhitungan kedalaman gerusan secara empiris yang mendekati dengan hasil pengukuran di lapangan. Hal ini disebabkan setiap metode yang digunakan dalam perhitungan kedalaman gerusan terdapat parameter yang berbeda antara satu metode dengan metode lainnya. Berbeda dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya (Suma, Fuad, dan Liany 2018) perhitungan gerusan secara empiris dengan metode *Froehlich* memberikan hasil kedalaman gerusan yang paling kecil. Dalam desain, metode *CSU* adalah yang paling konservatif dan digunakan dalam perancangan struktur pilar jembatan.

Kedalaman gerusan pada jembatan untuk periode ulang 100 tahun setelah diperbaiki sebesar 5,64 meter. Nilai konservatif dari kedalaman gerusan diperoleh berdasarkan hasil analisis metode *CSU* (Gambar 19 dan Tabel 10). Kedalaman gerusan berdasarkan teori *CSU* selain ditentukan kedalaman aliran juga ditentukan oleh bentuk dan dimensi pilar. Setelah jembatan Cipamingkis runtuh dan diperbaiki, saat ini penanganan gerusan dilakukan dengan memasang bronjong di sekitar pilar (Gambar 22). Pemasangan

bronjong di sekitar *abutment* jembatan Cipamingkis merupakan salah satu perkuatan yang dilakukan untuk melindungi dan memperkuat struktur tanah di sekitar jembatan agar tidak terjadi longsor.



**Gambar 21.** Grafik hubungan kedalaman gerusan terhadap periode waktu setelah jembatan diperbaiki

**Tabel 10.** Perbandingan analisis gerusan pada jembatan Cipamingkis sebelum runtuh dan setelah diperbaiki

No	Periode ulang (tahun)	Kedalaman aliran ( $y_1$ ) (meter)	Debit ( $m^3/detik$ )	Kecepatan aliran ( $m/detik$ )	$Fr$	Kedalaman Gerusan (meter)			
						Program HEC-RAS (meter)	Laursen dan Toch (meter)	Metode <i>Froehlich</i> (meter)	Metode <i>CSU</i> (meter)
Sebelum jembatan runtuh									
1	2	3,99	586,24	3,62	0,68	3,62	3,32	2,90	4,75
2	10	5,61	1294,94	4,48	0,67	4,28	3,68	3,21	5,30
3	25	5,75	1687,55	5,20	0,74	4,73	3,71	3,28	5,58
4	50	5,98	1850,39	5,17	0,71	4,82	3,75	3,31	5,55
5	100	6,11	2058,64	5,36	0,71	4,95	3,77	3,33	5,61
Setelah jembatan diperbaiki									
1	2	3,70	586,24	3,75	0,71	3,75	3,25	2,85	4,71
2	10	5,41	129,94	4,57	0,69	4,36	3,64	3,19	5,30
3	25	5,54	168,55	5,31	0,76	4,83	3,67	3,26	5,57
4	50	5,77	185,39	5,28	0,73	4,92	3,71	3,28	5,55
5	100	6,04	2058,64	5,46	0,73	5,03	3,76	3,33	5,64



**Gambar 22.** Pemasangan bronjong pada jembatan Cipamingkis

Selain bronjong, perkuatan lain yang dapat dilakukan adalah dengan memasang *rip-rap* dari batu *boulder*, blok beton terkunci, atau blok beton acak. Untuk mengendalikan potensi penurunan dasar sungai dapat dilakukan dengan membangun pengendali dasar sungai (*bottom controller*). Pengendali dasar sungai dapat terbuat dari pasangan batu, beton bertulang, atau blok beton terkunci.

Berdasarkan hasil tersebut tidak terjadi perubahan potensi gerusan yang terjadi untuk periode ulang 2 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun pada pilar jembatan dalam kondisi sebelum dan setelah diperbaiki.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Jembatan Cipamingkis mengalami keruntuhan akibat terjadinya gerusan yang mengakibatkan penurunan pilar. Pada kondisi jembatan sebelum runtuh dan setelah diperbaiki terdapat peningkatan kecepatan dan bilangan *Froude* aliran antara Sta(1+200) di bagian hulu dan Sta(1+100) pada bagian hilir, namun peningkatannya tidak signifikan.

Analisis dengan program HEC-RAS memberikan hasil potensi gerusan di lokasi jembatan yaitu berkisar antara 3,5 hingga 5 meter untuk debit periode ulang 2 tahun hingga 100 tahun. Bila dibandingkan dengan beberapa metode empiris, hasil simulasi HEC-RAS memiliki nilai perkiraan gerusan lebih rendah dibandingkan *CSU*, namun lebih tinggi terhadap metode *Laursen dan Toch* ataupun *Froehlich*. Dari keempat metode yang digunakan, metode *CSU* memiliki nilai perkiraan gerusan terbesar diantara metode

lainnya yaitu mencapai 5,64 m untuk periode ulang 100 tahun. Sehingga metode *CSU* dapat digunakan untuk perencanaan awal kedalaman tiang disekitar pilar jembatan.

### Saran

Perlu dilakukan studi lanjutan batas gerusan maksimum pada suatu pilar jembatan sesuai dengan kapasitas struktur jembatan, pengumpulan data kontur atau topografi sungai yang lebih lengkap untuk pemodelan profil sungai yang lebih akurat, dan melakukan studi terkait rekayasa struktur atau hidrolika aliran sungai sehingga dampak gerusan terhadap kestabilan struktur dapat diminimalisasi. Mengukur gerusan secara langsung di lapangan untuk mendapatkan hasil perhitungan kedalaman gerusan yang akurat, serta perlu dilakukan penelitian mengenai cara penanggulangan gerusan di sekitar kepala jembatan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Puslitbang Jalan dan Jembatan atas dukungan kegiatan penelitian yang sangat bermanfaat dan PT. Wiratman Chodai Indonesia (WCI) sebagai mitra kerjasama dalam melakukan analisis mitigasi bencana.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chanson, Hubert. 2004. "2 - Fundamentals of open channel flows." In , diedit oleh Hubert B T - Environmental Hydraulics of Open Channel Flows Chanson, 11–34. Oxford: Butterworth-Heinemann. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-075066165-2.50034-5>.
- Dirjen SDA.2016."Laporan Geologi Teknik. "Review Desain Pengendalian Degradasi MorfologiSungai Cipamingkis"
- Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Jawa Barat. 2017. "As Built Drawing Paket Rehabilitasi Jembatan Cipamingkis"
- Imhof, Daniel. 2004. "Risk assessment of existing bridge structures." University of Cambridge.
- KOMINFO. 2017. "Data Statistik."
- Laursen, Emmett M, dan Arthur Toch. 1956. "BULLETIN NO Scour Around Bridge Piers And Abutments Iowa Institute of

- Hydraulic Research in cooperation with THE IOWA STATE HIGHWAY COMMISSION and THE BUREAU OF PUBLIC ROADS,” no. 4. <https://core.ac.uk/download/pdf/76635144.pdf>
- Melville, B W. 1987. “Local scour around bridge piers AU - Chiew, Y. M.” *Journal of Hydraulic Research* 25 (1). Taylor & Francis: 15–26. doi:10.1080/00221688709499285.
- Melville, B W, and A J Sutherland. 1988. “Design method for local scour at bridge piers.” *Journal of Hydraulic Engineering* 114 (10). American Society of Civil Engineers: 1210–26.
- Melville, Bruce. 2006. “the Physics of Local Scour,” no. 1: 28–40. doi:10.1353/pla.2011.0007.
- Purnomo, Sanidhya Nika, , Nasta'in, Wahyu Widiyanto, dan Loren Salsabilla. 2017. “Efektivitas Bentuk Abutmen Terhadap Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan.” *Jurnal Teknik Sipil* 13 (4): 323. doi:10.24002/jts.v13i4.940.
- Richardson, E V, D B Simons, dan P Y Julien. 1990. “Highways in the River Environment. US Department of Transportation.” *Federal Highway Administration*.
- Sheppard, D. M., B. Melville, dan H. Demir. 2014. “Evaluation of Existing Equations for Local Scour at Bridge Piers.” *Journal of Hydraulic Engineering* 140 (1): 14–23. doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000800.
- Suma, M. F., Fuad Halim, dan Liany A Hendratta. 2018. “Analisis gerusan lokal pada pilar jembatan kuwil kabupaten minahasa utara menggunakan metode empiris”. *Jurnal Sipil Statik*, 6 (11): 1017–1028.
- Taguchi, Naoko, dan Julie M. Sykes. 2013. “Chapter 1. Introduction,” 1–15. doi:10.1075/llt.36.01tag.