

# PERENCANAAN PERLINDUNGAN PILAR PADA JEMBATAN

(Studi Kasus Bangunan Jembatan Trisula-Blitar)

Winda Ekasari<sup>1</sup>, Gerard Aponno<sup>2</sup>, Moch. Sholeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa D4 Manajemen Rekayasa Konstruksi, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

<sup>2,3</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

E-mail: windaeka65@gmail.com

## Abstract

*Trisula bridge piers located at the delta of Brantas River do not have any protection from the stream of the river when flooding. The purpose of the design is to find out the scouring happens to piers caused by the river flow, to determine what kind of protection used to protect the piers, to plan the implementation method, to find out the cost, and the implementation time.*

*Water discharge, pier dimensions, the span and depth of the river, the condition of piers, and velocity of the flow were needed to find out the scouring by Hydraulic Engineering Circular No. 18 application. The result was employed to determine the type of the protection. To find out the estimated costs were calculated through SNI-2012. Ms. Project were applied to find out the implementation time.*

**Keywords :** bridge, piers, scouring, partially grouted riprap

## 1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu prasarana transportasi yang penting di dalam pembangunan sosial ekonomi suatu daerah karena jembatan merupakan sarana penghubung antara daratan satu dengan daratan lainnya yang terpisah oleh jurang, sungai, maupun laut. Sebagai negara kepulauan dan memiliki keadaan alam yang berbeda-beda, jembatan menjadi salah satu sarana yang sangat penting dan dibutuhkan di Indonesia. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, saat ini terdapat berbagai macam jenis jembatan. Antara lain Jembatan Rangka (*Truss Bridge*), Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*), Jembatan Kabel Penahan (*Cable Stay*), Jembatan Beton (*Concrete Bridge*).

Jembatan Trisula adalah jembatan rangka baja dengan tipe *half through arch* yang dibangun di atas sungai Brantas. Sehingga pilar jembatan berada pada daerah aliran sungai, terutama pilar P-2 pada jembatan ini. Adanya penghalang pada aliran sungai, seperti pilar jembatan ataupun *abutment* akan mengakibatkan perubahan pola aliran. Perubahan pola aliran ini akan menyebabkan terjadinya gerusan pada bagian bawah bangunan tersebut. Dan hal ini akan berpengaruh kepada kekuatan pilar di dalam menahan beban. Oleh karena itu, untuk meminimalisir terjadinya gerusan, dibutuhkan perlindungan pada pilar jembatan.

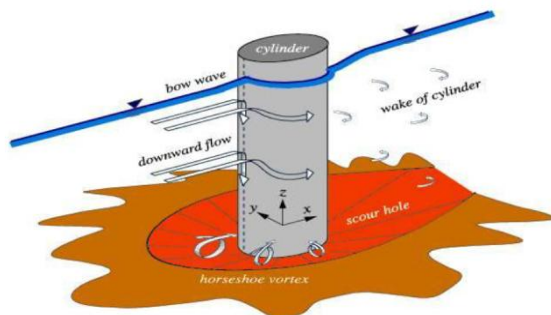
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Kerusakan pada jembatan akibat banjir sebagian besar disebabkan oleh arus akibat pengurangan luas penampang sungai karena adanya sejumlah tiang-tiang (terutama pada jembatan kayu) dan hampir semua kerusakan pada jembatan tetap disebabkan oleh perubahan dasar sungai atau penggerusan setempat. Pada pembangunan jembatan dimasa lalu, walaupun dasar sungai sudah dibuat stabil, kadang-kadang arah aliran sungai dapat berubah secara tiba-tiba sesuai dengan keadaan banjirnya. Hal-hal yang paling penting dalam merencanakan pekerjaan struktur bagian bawah jembatan yang melintasi sungai adalah masalah perubahan dasar sungai atau penggerusan setempat seperti yang telah disebutkan diatas.

Penggerusan merupakan hasil dari akumulasi erosi dari air yang mengalir, tergalir, dan terbawanya material dari dasar dan tepi dari aliran serta dari sekitar pilar dan *abutment* jembatan. Menurut FHWA (2012:76), gerusan di sekitar pilar jembatan merupakan akibat dari sistem pusaran (*Vortex system*) yang terjadi karena pilar tersebut telah menghalangi aliran. Saat aliran mendekati pilar, tekanan stagnasi menurun dan akan menyebabkan adanya aliran ke bawah (*down flow*). Dimana aliran yang berkecepatan

tinggi berubah menjadi aliran yang berkecepatan rendah. *Downflow* mencapai kekuatan maksimum pada saat berada di dasar saluran.

Awal terjadinya gerusan adalah karena adanya aliran vertikal. Dengan adanya tekanan stagnasi di bagian depan pilar, akan meningkatkan permukaan air yang kemudian membentuk *bow wave*. Lubang yang tergerus oleh *downflow* akan menyebabkan terpisahnya aliran di bagian hilir lingkaran lubang yang tergerus. Dan hal ini akan mengakibatkan berkembangnya *horseshoe vortex*. *Horseshoe vortex* bergerak melewati sisi pilar kemudian bergerak memanjang ke arah hilir lubang hasil gerusan. Aliran yang telah melewati bagian sisi samping pilar akan membentuk *wake vortex* pada bagian depan pilar. Kemudian intensitas turbulensi yang bertambah akan meningkatkan besarnya gerusan dan pengangkutan sedimen. Gambar berikut menunjukkan skema penggerusan yang terjadi pada pilar jembatan (Gambar 1).



Gambar 1. Skema penggerusan

Pada sungai terdapat beberapa jenis gerusan yang terjadi berdasarkan FHWA (2012:72), antara lain gerusan umum (*General Scour*), gerusan akibat penyempitan di alur sungai (*Contraction Scour*), dan gerusan lokal (*Local Scour*). Terdapat dua kondisi untuk *contraction scour* dan *local scour*, yaitu *clear water scour* dan *live-bed scour*. *Clear water scour* terjadi apabila material atau sedimen terangkut oleh gerusan aliran pada bagian dasar pilar dan tidak ada pasokan material lagi ke dalam lubang yang telah terbentuk. Percepatan aliran dan pusaran yang terjadi akibat dari adanya penghalang aliran (pilar/*abutment*) menyebabkan material dasar bergerak. Sehingga pergerakan sedimen hanya terjadi di daerah sekitar pilar. Pada saat terjadi banjir, jembatan yang dibangun di atas sungai cenderung sering mengalami *clear-water scour* pada saat debit rendah, *live-bed scour* pada debit tinggi.

Untuk menganalisa terjadinya penggerusan ada beberapa rumus yang bisa digunakan. Pada perencanaan ini, rumus yang digunakan adalah *Hydraulic Circular Engineering No.18 (HEC-18)*, karena dapat digunakan untuk semua bentuk pilar baik itu pilar berbentuk silinder, persegi, maupun kelompok tiang dengan menggunakan Persamaan 1.

$$\frac{y_s}{y_1} = 2,0 \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot \left(\frac{a}{y_1}\right)^{0,65} \cdot (Fr_1)^{0,43} \quad (1)$$

keterangan:

- $y_s$  = kedalaman penggerusan (m)
- $y_1$  = kedalaman rata-rata (m)
- K1 = faktor koreksi terhadap bentuk ujung pilar
- K2 = faktor koreksi terhadap sudut datang aliran ( $^{\circ}$ )
- K3 = faktor koreksi terhadap kondisi dasar aliran
- a = lebar pilar (m)
- $Fr$  = bilangan Froude untuk kedalaman rata-rata

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}} \quad (2)$$

$$D = \frac{A}{T} \tag{3}$$

dimana:

- A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)
- T = Lebar permukaan air (m)
- g = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)
- V = kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

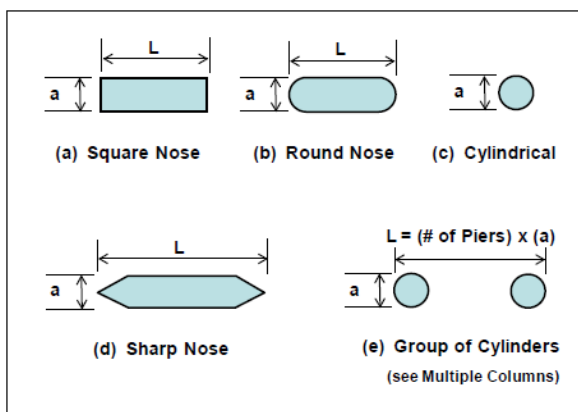
Setiap bentuk pilar memiliki pengaruh yang berbeda untuk aliran sungai dan memiliki kedalaman yang berbeda pada penggerusannya. Di bawah ini merupakan koefisien koreksi untuk bentuk penampang pilar seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Koreksi untuk bentuk penampang pilar (*Pier*)

Bentuk Ujung Pilar	K <sub>1</sub>
Persegi	1,1
Bulat	1,0
Lingkaran Silinder	1,0
Kumpulan Silinder	1,0
Tajam	0,9

Sumber : FHWA 2012

Di bawah ini menunjukkan berbagai bentuk pilar yang berpengaruh pada perhitungan penggerusan yang terjadi seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk pilar (Sumber : FHWA 2012)

Selain bentuk pilar, arah datang aliran sungai terhadap pilar juga mempengaruhi besarnya penggerusan yang terjadi. Tabel di bawah ini menunjukkan koefisien koreksi untuk arah datang aliran air terhadap pilar seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien Koreksi untuk arah datang aliran air

Sudut datang aliran $\theta^\circ$	K <sub>2</sub>		
	L/a = 4	L/a = 8	L/a = 12
0°	1,0	1,0	1,0
15°	1,5	2,0	2,5
30°	2,0	2,75	3,5
45°	2,3	3,3	4,3
90°	2,5	3,9	5,0

Sumber : FHWA 2012

dimana:

- $\theta$  = sudut kemiringan aliran ( ° )

L = panjang pilar (m)  
 a = lebar pilar (m)

Untuk faktor koreksi K<sub>2</sub>, dimana terdapat sudut datang aliran, maka besarnya faktor koreksi dihitung dengan Persamaan 4.

$$K_2 = (\cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta)^{0.65} \text{ (FHWA:2012)} \quad (4)$$

keterangan :

K<sub>2</sub> = faktor koreksi terhadap arah datang saluran

θ = sudut kemiringan aliran ( ° )

L = panjang pilar (m)

a = lebar pilar (m)

Kondisi dasar saluran juga mempengaruhi dalamnya penggerusan. Oleh karena itu terdapat faktor koreksi untuk kondisi dasar saluran seperti terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Koefisien koreksi untuk kondisi dasar saluran

Kondisi Dasar	Tinggi Gundukan (m)	K <sub>3</sub>
<i>Clear water scour</i>	-	1,1
Dasar rata dan aliran <i>anti-dune</i>	-	1,1
Gundukan kecil	3 > H > 0,6	1,1
Gundukan sedang	9 > H > 3	1,1 – 1,2
Gundukan besar	H > 9	1,3

Sumber : FHWA 2012

Keterangan :

H = tinggi gundukan (m)

### 3. METODOLOGI

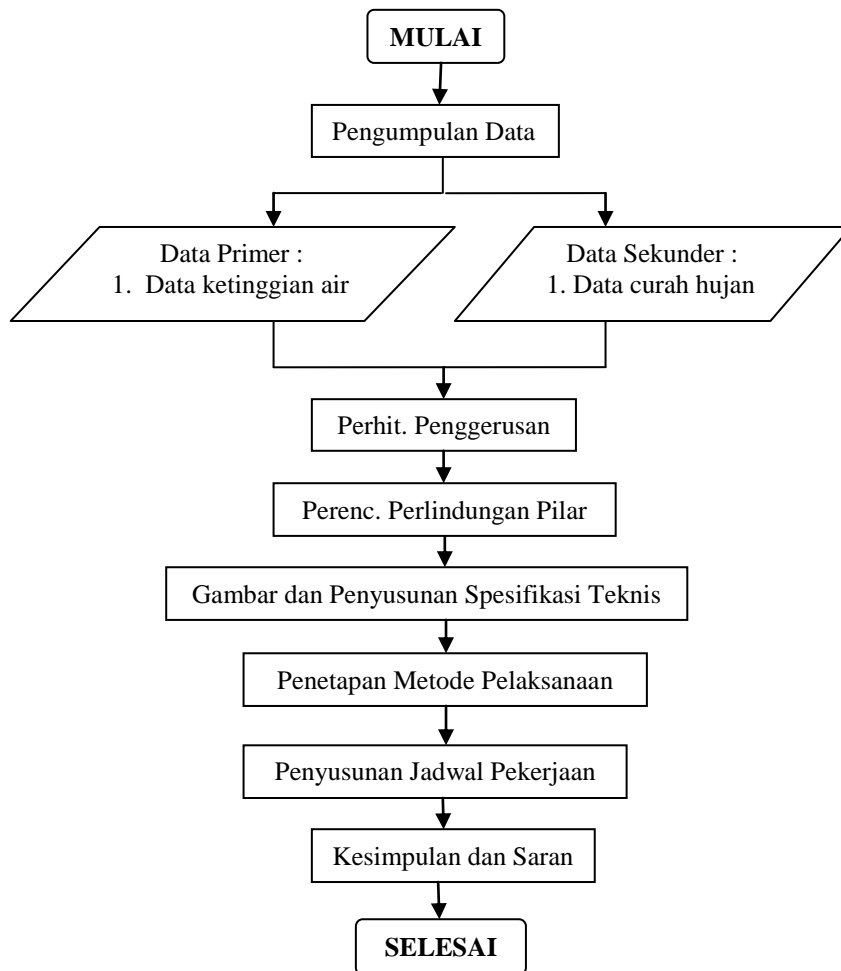
Penyusunan penyelesaian masalah berdasarkan perencanaan sistem perlindungan pilar yang meliputi:

1) Perhitungan penggerusan

Perhitungan penggerusan dilakukan dengan pengolahan data sekunder yang sudah didapat. Perhitungan penggerusan pada perencanaan ini menggunakan debit banjir rancangan Bendungan Lodojo. Karena terletak sebelum Jembatan Trisula, sehingga diasumsikan bahwa debit banjir rancangan pada sungai Brantas pada Jembatan Trisula sama dengan debit banjir rancangan pada Bendungan Lodojo.

2) Perencanaan perlindungan pilar

Perencanaan perlindungan pilar menggunakan metode *Partially Grouted Riprap*. Metode ini secara teoritis dirasa cocok baik dalam segi keunggulan struktur maupun kemudahan dalam pekerjaan.



Gambar 3. Flow chart

### 3) Perencanaan metode pelaksanaan pekerjaan

Penyusunan metode pelaksanaan pekerjaan ditujukan agar proyek tepat waktu, biaya, dan mutu. Disamping itu, penyusunan metode pelaksanaan ditujukan untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja.

### 4) Menyusun Jadwal pelaksanaan pekerjaan

Jadwal pelaksanaan pekerjaan berupa bar-chart dan dilanjutkan dengan penjadwalan alat serta bahan yang digunakan selama masa pembangunan perlindungan pilar.

### 5) Menyusun Anggaran Biaya

Hasil analisa komponen pekerjaan dikalikan volume pada akhirnya akan menghasilkan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) per item yang menjadi dasar dalam menentukan nilai estimasi biaya pelaksanaan proyek keseluruhan dengan menkonversikan kedalam total volume untuk tiap item pekerjaan yang dimaksud (harga dasar).

## 4. PEMBAHASAN

Untuk perhitungan penggerusan, hal pertama yang dilakukan adalah menghitung kecepatan aliran saat banjir terjadi. Kecepatan aliran ini didapat dari debit banjir rancangan dari Bendung Lodoyo. Karena terletak sebelum Jembatan Trisula, sehingga diasumsikan bahwa debit banjir rancangan pada sungai Brantas pada Jembatan Trisula sama dengan debit banjir rancangan pada Bendungan Lodoyo. Dari data debit banjir rancangan yang diperoleh dari Perum Jasa Tirta I, diperoleh hasil debit banjir rancangan

sebesar 3970 m<sup>3</sup>/dt. Dari data tersebut, langkah selanjutnya adalah menghitung kecepatan aliran sebesar 11,03 m/dt.

Dari analisa yang telah dilakukan, diketahui bahwa jenis penggerusan yang diperkirakan terjadi adalah *live-bed scour*. Analisa selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung penggerusan yang terjadi dengan menggunakan rumus *HEC-18*. Dari perhitungan yang telah dilakukan, dimana bagian dari pilar yang terendam aliran sungai saat banjir adalah bagian *pile cap* ke bawah, diketahui bahwa perkiraan dalamnya penggerusan yang terjadi adalah sedalam 7,417 m. Jenis perlindungan yang akan digunakan untuk meminimalisir gerusan adalah *partially grouting riprap*.

Pada perencanaan perlindungan tersebut, hal selanjutnya yang diperhitungkan adalah *bill of quantity* (BOQ), analisa harga satuan, dan rencana anggaran biaya. Dengan hasil rencana anggaran biaya seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Rencana Anggaran Biaya

NO	URAIAN PEKERJAAN	KUANTITAS	SATUAN	HARGA SATUAN	TOTAL HARGA
1	Pekerjaan galian tanah	136.152	m3	Rp 12,013.99	Rp 1,635,728.96
2	Pemasangan Geotextile	87.84	m2	Rp 112,211.25	Rp 9,856,636.20
3	Pasangan Riprap	131.76	m3	Rp 336,655.60	Rp 44,357,741.86
4	Grouting	87.84	m2	Rp 313,395.24	Rp 27,528,637.88
JUMLAH					Rp 83,378,744.90

## 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis perhitungan penggerusan diketahui bahwa dalamnya penggerusan yang terjadi sebesar 7,417 m.
2. Jenis perlindungan yang cocok digunakan pada pilar jembatan Trisula ini secara teoritis adalah *Partially Grouting Riprap*.
3. Durasi yang dibutuhkan untuk pembangunan perlindungan pilar ini adalah 19 hari kerja.
4. Untuk pembangunan perlindungan pilar ini dibutuhkan anggaran biaya sebesar Rp 83.378.744,90.

### 5.2. Saran

Perlindungan pilar merupakan hal yang penting untuk diperhatikan di dalam perencanaan jembatan. Terutama untuk jembatan yang dibangun di atas sungai. Karena bangunan yang dibangun di atas sungai dapat merubah pola aliran sungai yang menyebabkan terjadinya penggerusan di bagian bawah pilar. Perlindungan pilar dengan menggunakan *sheet pile* atau jenis perlindungan lain yang memperbesar diameter pilar dapat memperparah penggerusan. Karena diameter pilar yang semakin besar dapat mempersempit aliran sehingga penggerusan yang terjadi dapat semakin dalam. Oleh karena itu, dibutuhkan jenis perlindungan yang tidak memperlebar diameter pilar namun cukup efektif untuk mengurangi penggerusan yang terjadi. Seperti perlindungan dengan metode *Partially Grouting Riprap*.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2012. *Evaluating Scour at Bridge Fifth Edition*.
- Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2009. *Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures Experience, Selection, and Design Guideline Volumes 1 and 2 Third Edition*.
- H.S., Agung Wiyono, 2006. *Perbandingan Beberapa Formula Perhitungan Gerusan Di Sekitar Pilar*.
- Supriyadi, Bambang., dan Muntohar, A.S., 2000. *Jembatan*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Sosrodarsono, Suyono., dan Nakazawa, Kazuto., 2005. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.