

ANALISIS PERKUATAN BANGUNAN BAWAH JEMBATAN DENGAN RIP-RAP

(THE STRENGTHENING ANALYSIS OF BRIDGE SUBSTRUCTURE WITH RIP-RAP)

¹N. Retno Setiati, ²Elis Kurniawati

^{1,2}Balai Geoteknik Terowongan dan Struktur, Direktorat Jenderal Bina Marga,

^{1,2}Jl. A.H. Nasution No. 264 Bandung

e-mail: ^{1,2}n.retno@pu.go.id

Diterima: 14 September 2020; direvisi: 28 Mei 2021 ; diterima: 11 Juni 2021

ABSTRAK

Jembatan eksisting di Indonesia yang dibangun pada tahun 1980-an umumnya secara desain kurang memperhatikan bentuk morfologi aliran sungai. Hal ini berdampak pada jembatan yang dibangun di lokasi sungai mengalami keruntuhan akibat rusaknya pilar. Kerusakan pilar disebabkan gerusan aliran sungai yang terjadi selama periode tertentu dan keruntuhannya tidak terjadi secara tiba-tiba. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya potensi gerusan aliran sungai pada pilar jembatan eksisting yang terjadi dalam periode waktu tertentu. Analisis kedalaman gerusan dilakukan dengan menggunakan program Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS). Studi kasus dilakukan pada jembatan Cipamingkis (setelah perkuatan) dan jembatan Cipunegara. Dalam studi kasus akan dibandingkan kedalaman gerusan dan bentuk penanganan yang sesuai pada masing-masing pilar jembatan untuk periode ulang banjir 100 tahun. Berdasarkan hasil analisis, kedalaman gerusan pada pilar jembatan Cipamingkis (setelah perkuatan) untuk periode ulang banjir 100 tahun adalah 5 meter. Sedangkan kedalaman gerusan untuk jembatan Cipunegara adalah 7 meter. Kedalaman gerusan pada pilar jembatan Cipunegara untuk periode ulang banjir 100 tahun lebih besar dibandingkan pada jembatan Cipamingkis. Usaha mitigasi yang dilakukan untuk menghindari terjadinya keruntuhan pilar jembatan Cipunegara dan Cipamingkis adalah dengan membuat bangunan pengarah aliran sungai dan membuat bangunan pelindung pilar. Pembuatan rip-rap di sekitar pilar jembatan merupakan salah satu jenis penanganan yang dilakukan agar pilar jembatan tidak runtuh secara tiba-tiba. Pemasangan rip-rap pada pilar jembatan Cipunegara dan Cipamingkis dapat mengurangi terjadinya proses gerusan sebesar 60% untuk periode ulang banjir 100 tahun.

Kata kunci: jembatan, pilar, eksisting, gerusan, HEC-RAS, rip-rap

ABSTRACT

In general, existing bridges in Indonesia that were built in the 1980s do not take into account the morphological shape of the river flow. This has an impact on the bridge that was built at the river's location to collapse due to damaged pillars. Damage to the pillar was caused by scouring of the river flow that occurred during a certain period and the collapse did not occur suddenly. This research was conducted to determine the potential occurrence of river flow scouring on the existing bridge pillars that occurs within a certain time period. Scour depth analysis was carried out using several empirical methods and using the Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS) program. Case studies were carried out on the Cipamingkis Bridge (after retrofitting) and the Cipunegara Bridge. In the case study, the depth of the scour that occurred in each bridge pillar will be compared for the 100 year return period of flooding. Based on the results of the analysis, the scour depth of the Cipamingkis bridge pillars (after strengthening) for the 100 year return period of flooding is 5 m. While the scour depth for the Cipunegara Bridge for the 100 year return period of flooding is 7 meters. The scour depth of the Cipunegara bridge pillar is greater than that of the Cipamingkis bridge. Mitigation technology to avoid the collapse of the pillars of the Cipunegara and Cipamingkis bridges is to construct a river flow protection structure and construct a pillar protection structure. Making rip-rap around bridge pillars is one type of prevention that is done so that the bridge pillars don't suddenly collapse. Reinforcement of rip-rap on the pillars of the Cipunegara and Cipamingkis bridges can reduce the occurrence of scouring processes by 60% for the 100 year return period of flooding.

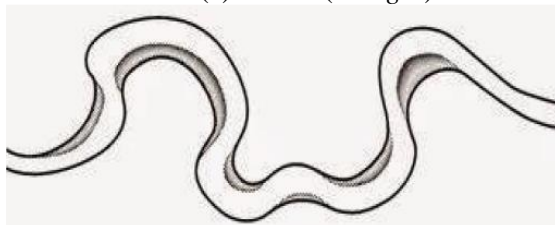
Keywords: bridge, pier, existing, scourings, HEC-RAS, rip-rap

PENDAHULUAN

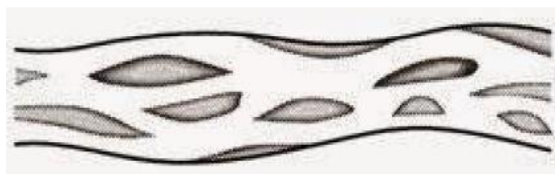
Indonesia adalah negara kepulauan dengan daratan yang banyak dikelilingi sungai. Sungai dapat dibedakan berdasarkan sumber air, debit atau volume aliran, struktur lapisan batuan, arah aliran yang dilalui, dan tempat bermuaranya. Sungai di Indonesia merupakan salah satu sarana transportasi yang digunakan dalam kegiatan perekonomian. Untuk menghubungkan wilayah daerah satu dengan lainnya digunakan juga transportasi lain berupa jalan dan jembatan. Jembatan diperlukan apabila jalan yang terhubung pada suatu ruas tertentu dipisahkan oleh sebuah sungai. Berdasarkan bentuk morfologi, ada 3 (tiga) jenis sungai di Indonesia yaitu bentuk lurus, berbelok (*meander*), *anastomosing*, dan bentuk berjaln (*braided*) sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1 (DJBM 1993).



(a) Lurus (*straight*)



(b) Berkelok (*meandering*)



(c) Berjaln (*braided*)



(d) Keping (*anastomosing*)

Gambar 1. Sketsa jenis morfologi sungai

Berdasarkan jenis sungai pada Gambar 1, setiap sungai mempunyai pola aliran, kecepatan aliran, dan debit air yang berbeda-beda. Debit air sungai sangat tergantung dari curah hujan yang terjadi di lokasi tertentu. Meluapnya air sungai dapat menyebabkan terjadinya banjir. Bencana alam banjir akan merusak struktur bangunan yang ada di sekitar sungai. Jembatan sebagai bagian dari struktur bangunan sungai akan berdampak rusak atau bahkan runtuh jika sungai disekitarnya meluap. Untuk menghindari terjadinya kerusakan struktur jembatan akibat bencana banjir maupun gerusan aliran sungai perlu dilakukan usaha-usaha pemeriksaan dan perkuatan struktur jembatan.

Metode yang paling umum digunakan untuk mengendalikan atau mencegah gerusan adalah membuat *rip-rap* yakni dengan menempatkan batuan di dasar sungai di sekitar pilar atau menempatkan batuan ke dalam lubang gerusan di sekitar pilar. Beberapa metode lain diantaranya dengan membuat pondasi blok pada dasar pilar yang ditempatkan di bawah dasar saluran yang efektif untuk meniadakan aliran vertikal ke bawah. Selain itu penempatan secara *ring formed* pada pilar dapat mengurangi gerusan. Metode lain yaitu dengan menyusun pilar-pilar kecil di hulu dari pilar yang dapat melemahkan sistem pusaran telapak kuda (Lutjito dan Purwantoro, dan Sudiyono 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jenis perkuatan pada jembatan Cipamingkis dan jembatan Cipunegara terhadap bahaya banjir maupun gerusan aliran sungai. Sebelum dilakukan perkuatan kedua jembatan tersebut diperiksa dan dievaluasi potensi terjadinya gerusan akibat aliran air. Perhitungan kedalaman gerusan menggunakan program Hec-ras dan metode CSU.

Pemeriksaan alur sungai menjadi salah satu syarat pendukung dalam perencanaan jembatan dikarenakan untuk merencanakan batas layan umur suatu jembatan, pada suatu alur sungai banyak memiliki suatu faktor yang dapat menimbulkan kegagalan bangunan jembatan (Setyawan, Arie, dan Syahroni 2017). Beberapa jembatan di Indonesia yang rusak (runtuh) akibat bencana banjir menyebabkan terputusnya sarana transportasi jalan. Bencana banjir dapat menyebabkan

runtuhnya jembatan secara tiba-tiba dan menimbulkan korban bencana alam. Namun keruntuhan jembatan juga dapat terjadi selama periode waktu tertentu dan kejadiannya tidak dapat diketahui secara kasat mata (visual). Keruntuhan jembatan dapat disebabkan terjadinya gerusan pada pilar jembatan. Sebagai contoh adalah kerusakan bangunan air di Sungai Cipamingkis yang terjadi saat datang debit banjir pada awal tahun 2016. Debit air yang mengalir mengakibatkan kerusakan yang dapat memicu kehancuran/keruntuhan jembatan. Pada tahun 2017 jembatan Cipamingkis mengalami keruntuhan. Perbaikan jembatan Cipamingkis dilakukan pada tahun 2018 sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi jembatan Cipamingkis setelah perbaikan (Pusjatan 2018)

Berdasarkan Gambar 2, terdapat satu pilar yang terletak pada sepertiga panjang jembatan. Perkuatan di sekitar pilar perlu dilakukan baik dengan pemasangan bronjong ataupun *rip-rap*. Sungai Cipamingkis merupakan jenis sungai torensial. Menurut Mulyanto (2010), pada sungai torensial kemiringan dasar alur sungai masih terjal sehingga kecepatan aliran di dalamnya sangat besar. Kapasitas angkut sedimen dari aliran sungai sangat besar, butiran sedimen berdiameter besar. Sungai Cipamingkis mempunyai kemiringan dasar (I_0) yang cukup curam, $I_0 = 0,0086$. Penampang sungai berbentuk U dengan geometri sungai yang berliku-liku dan alur yang berpindah-pindah. Perubahan morfologi di ruas ini juga masih sangat aktif terutama dalam arah vertikal dengan gejala degradasi dan longsoran tebing yang dominan. Material dasar sungai terdiri

dari batu bongkah, kerikil dan pasir. Kondisi material tersebut banyak dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan bangunan. Pemanfaatan material dasar sungai oleh masyarakat tersebut membawa dampak terhadap besarnya penurunan dasar sungai. Penurunan dasar sungai tersebut telah berdampak kerusakan pada hampir semua bangunan air yang ada di sekitar sungai termasuk jembatan.

Penanganan kasus gerusan juga dilakukan pada jembatan Cipunegara yang terletak di lokasi sungai Cipunegara. Sungai ini mengalir sepanjang tahun. Kejadian banjir pada sungai ini terjadi setiap tahun. Kondisi sungai Cipunegara memiliki kemiringan terjal dan curah hujan yang tinggi sehingga dapat menimbulkan arus kuat (*stream power*). Debit aliran sungai cukup besar dan periode waktu debit aliran umumnya berlangsung cepat. Material dasar sungai berbentuk *boulder*/batu besar, krakal, krikil dan pasir. Bentuk sungai adalah *braided* (berjalin). Alur bagian atas hulu merupakan rangkaian jeram-jeram aliran yang deras. Penampang lintang sungai umumnya berbentuk V atau tebing sungai yang curam (BBWS Citarum 2016).

Menurut hasil pemeriksaan yang dilakukan oleh Bina Marga (2019), terjadi penurunan tanah di sekitar kepala jembatan. Kondisi pilar di tengah sungai pada jembatan Cipunegara juga mengalami penggerusan sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Kondisi pilar jembatan Cipunegara (Pusjatan 2019)

Berdasarkan Gambar 3, saat terjadinya luapan air sungai, maka akan timbul olakan (pusaran air) di sekitar pilar. Pusaran air tersebut berdampak pada adanya gerusan lokal. Gerusan lokal pada bangunan jembatan disebabkan oleh pusaran arus berbentuk sepatu kuda yang mengelilingi sekitar badan

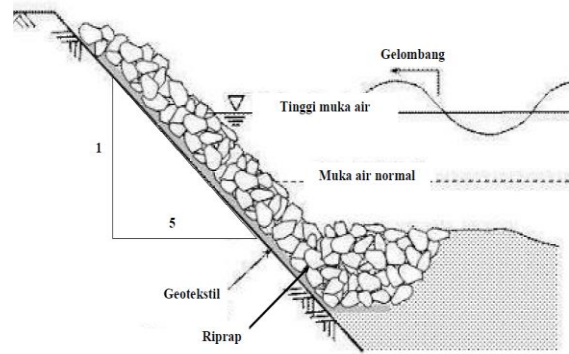
bangunan tepatnya di dasar sungai. Pusaran tersebut akan menggerakkan material dasar dan membawanya ke tempat lain, hal ini terjadi karena transportasi material dasar yang keluar lebih besar daripada transportasi material yang tetap ditempatnya, sehingga timbul lubang gerusan (Taguchi dan Julie 2013). Struktur jembatan Cipunegara identik dengan jembatan Cipamingkis, yaitu terdapat satu pilar pada lokasi sungai.

Rip-rap yaitu susunan bongkahan batu alam atau blok-blok beton buatan dengan ukuran dan volume tertentu yang digunakan antara lain sebagai tambahan peredam energi di hilir bendung/jembatan dan berfungsi pula sebagai lapisan perisai untuk mengurangi kedalaman penggerusan setempat dan untuk melindungi tanah dasar di hilir peredam energi bendung/jembatan. Pada jembatan, *rip-rap* digunakan sebagai metode perlindungan dari gerusan lokal di sekitar pilar dan kepala jembatan. Contoh penerapan *rip-rap* jenis batu alam di sekitar pilar jembatan (studi kasus jembatan Comal tahun 2014) ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Penerapan *rip-rap* pada jembatan Comal

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh Rustiati (2007), perkuatan kepala jembatan terhadap gerusan dengan *rip-rap* dapat mengurangi efek erosi pada aliran dan pusaran tumit kuda (*horse shoes vortex*). Skema pemasangan *rip-rap* di sekitar kepala jembatan ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Skema penanganan gerusan pada kepala jembatan dengan *rip-rap*

Berdasarkan Gambar 5, kemiringan pemasangan *rip-rap* pada kepala jembatan adalah 1:5 (FHWA 2009). Material filter yang digunakan dapat berupa geotekstil maupun batuan dengan ukuran material dasar D_{15} , D_{50} , dan D_{85} harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\frac{D_{50} (filter)}{D_{50} (material\ dasar)} < 40 \dots\dots\dots(1)$$

$$5 < \frac{D_{15} (filter)}{D_{15} (material\ dasar)} < 40 \dots\dots\dots(2)$$

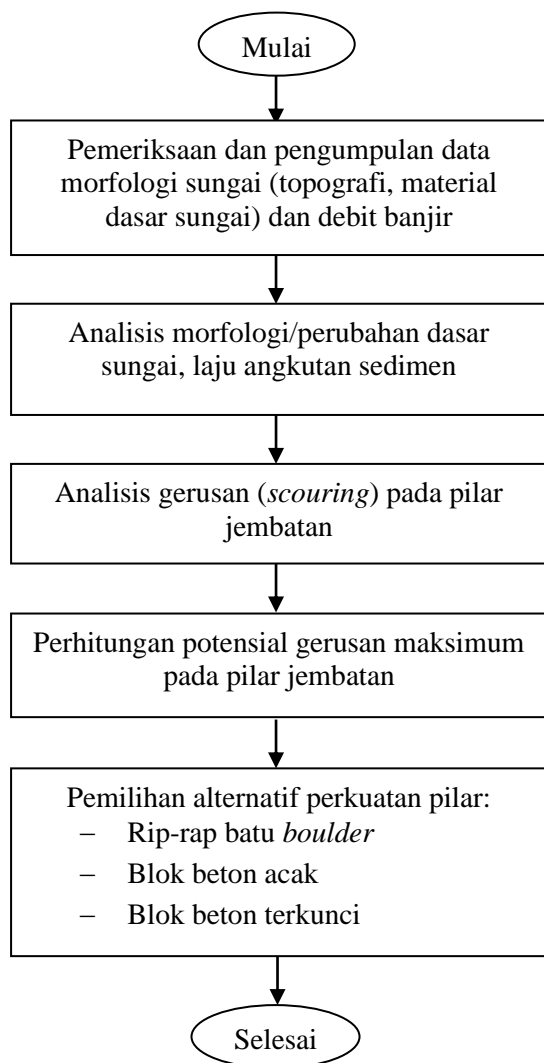
$$\frac{D_{15} (filter)}{D_{85} (material\ dasar)} < 5 \dots\dots\dots(3)$$

HIPOTESIS

Perkuatan pilar jembatan dengan *rip-rap* dapat mengurangi terjadinya gerusan dalam periode waktu tertentu.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 6.



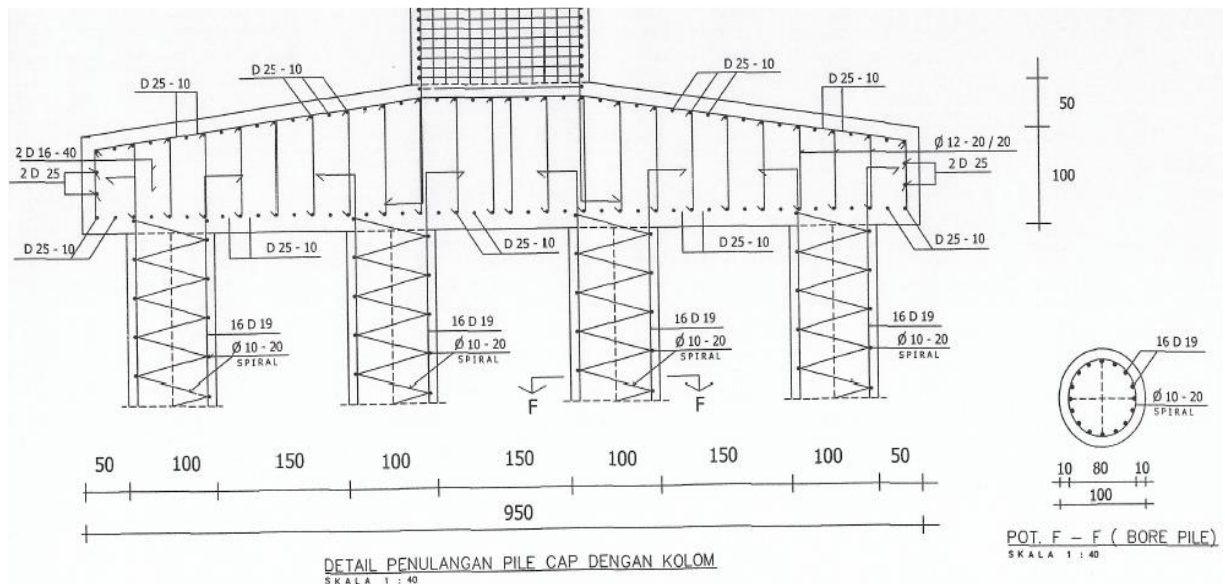
Gambar 6. Metodologi pemeriksaan dan perkuatan pilar jembatan

Berdasarkan Gambar 6, metodologi yang dilakukan meliputi proses pemeriksaan dan pengumpulan data primer maupun sekunder (data morfologi sungai (topografi, material dasar sungai) dan debit banjir) untuk mengidentifikasi risiko terjadinya gerusan terhadap jembatan eksisting. Pemeriksaan jembatan yang dilakukan meliputi struktur bangunan bawah yaitu pilar atau kepala jembatan. Dalam pemeriksaan di lapangan harus ditentukan hal-hal seperti : pola aliran air, debit sungai, kecepatan aliran, dan bentuk morfologi sungai. Setelah proses pemeriksaan, kemudian dilakukan analisis dan evaluasi termasuk kedalaman gerusan yang terjadi untuk periode ulang tertentu. Berdasarkan

analisis dan evaluasi kemudian ditentukan teknik perkuatan yang dipilih untuk meningkatkan ketahanan jembatan terhadap risiko terjadinya gerusan. Perkuatan dengan *rip-rap* dimulai dengan menentukan lokasi dan dimensi pilar, aliran dan kecepatan sungai, serta kondisi dasar sungai. Proses selanjutnya adalah menentukan kedalaman maksimum gerusan lokal yang terjadi pada pilar. Setelah kedalaman gerusan diketahui maka harus ditentukan ukuran batuan untuk *rip-rap* pada pilar jembatan.

HASIL DAN ANALISIS

Perkuatan jembatan Cipamingkis setelah keruntuhan yang terjadi pada tahun 2017 dilakukan pada struktur atas dan bawah jembatan. Perkuatan struktur bangunan bawah dilakukan dengan pembuatan pile serta kolom portal. Sedangkan untuk bangunan atas dibuat dengan menggunakan rangka baja tipe A-60, dengan bentang 60 meter. Berdasarkan hasil pemeriksaan lapangan yang dilakukan oleh Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Jawa Barat (2017), kondisi batuan di sekitar jembatan Cipamingkis terdiri dari batu lempung, batu pasir, dan batu gamping pasiran. Formasi tersebut sebagian ditutup oleh batuan alluvial muda. Endapan sungai muda berupa bongkahan kerakal kerikil pasir. Berdasarkan hasil uji laboratorium, batuan tersebut mengandung *montmorillonite* dan *kaolinite* yang menunjukkan bahwa lapisan tanah/batuan tersebut sangat sensitive mengalami perubahan fisik akibat perubahan cuaca maupun fluktuasi air di sekitar jembatan sehingga dapat memicu terjadinya suatu pergerakan tanah/batuan. Jembatan Cipamingkis berada pada zona gempu berwarna hijau dengan nilai kegempaan antara (0,25 sampai dengan 0,3g). Kondisi tanah di lokasi jembatan tergolong ke dalam tanah ekspansif dengan indeks pengembangan rendah sampai dengan sedang. Pembuatan pile jembatan Cipamingkis setelah terjadinya keruntuhan ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Sketsa pile jembatan Cipamingkis (Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Jawa Barat 2017)

Pembuatan pile berdasarkan Gambar 7 bertujuan untuk memperkuat struktur bangunan atas agar penurunan pilar tidak terjadi. Perkuatan dengan *rip-rap* juga dilakukan untuk meminimalisir terjadinya gerusan. Keruntuhan yang terjadi akibat gerusan tanah di sekitar pilar jembatan menyebabkan pondasi kehilangan tahanan

friksi. Dalam pemodelan aliran sungai, debit rencana yang digunakan adalah debit dengan periode ulang 100 tahun adalah 2058,64 m³/detik. Karakteristik aliran sungai ditunjukkan dalam Tabel 1, berdasarkan data pada Tabel 1 dapat ditentukan kedalaman gerusan maksimum yang terjadi sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik aliran sungai Cipamingkis

| Karakteristik aliran | Periode aliran | | | | | |
|-------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 25 tahun | | 50 tahun | | 100 tahun | |
| | Sta 1+200 | Sta 1+100 | Sta 1+200 | Sta 1+100 | Sta 1+200 | Sta 1+100 |
| Luas aliran (m ²) | 530,52 | 293,38 | 567,40 | 343,46 | 613,06 | 374,11 |
| Kecepatan aliran (m/s) | 3,99 | 6,63 | 4,11 | 6,45 | 4,27 | 6,64 |
| Bilangan Froude | 0,54 | 0,97 | 0,55 | 0,90 | 0,55 | 0,90 |

Tabel 2. Hasil perhitungan kedalaman gerusan pada jembatan Cipamingkis

| Periode ulang (tahun) | Kedalaman aliran (y1) (m) | Debit (m ³ /s) | Kecepatan aliran (m/s) | Bilangan Froude | Kedalaman gerusan maksimum (HEC-RAS) (m) | Kedalaman gerusan maksimum (CSU) (m) |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|--|--------------------------------------|
| 25 | 5,54 | 1697,55 | 3,99 | 0,54 | 4,83 | 5,62 |
| 50 | 5,77 | 1850,39 | 4,11 | 0,55 | 4,92 | 5,78 |
| 100 | 6,04 | 2058,64 | 4,27 | 0,55 | 5,03 | 5,91 |

Berdasarkan Tabel 2, Metode CSU dibuat oleh Richardson (1990) di Amerika. Rumus (4) ini paling sering digunakan.

$$d_s = 2y K_1 K_2 K_3 \left\{ \frac{b}{y} \right\}^{0,65} f_r^{0,43} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- d_s :kedalaman gerusan (m)
- b :lebar pilar (m)
- y :kedalaman aliran (m)
- f_r :bilangan Froude
- θ :sudut aliran
- K_1 : koefisien bentuk pilar
- K_2 : koefisien sudut aliran
- K_3 : koefisien kondisi dasar saluran

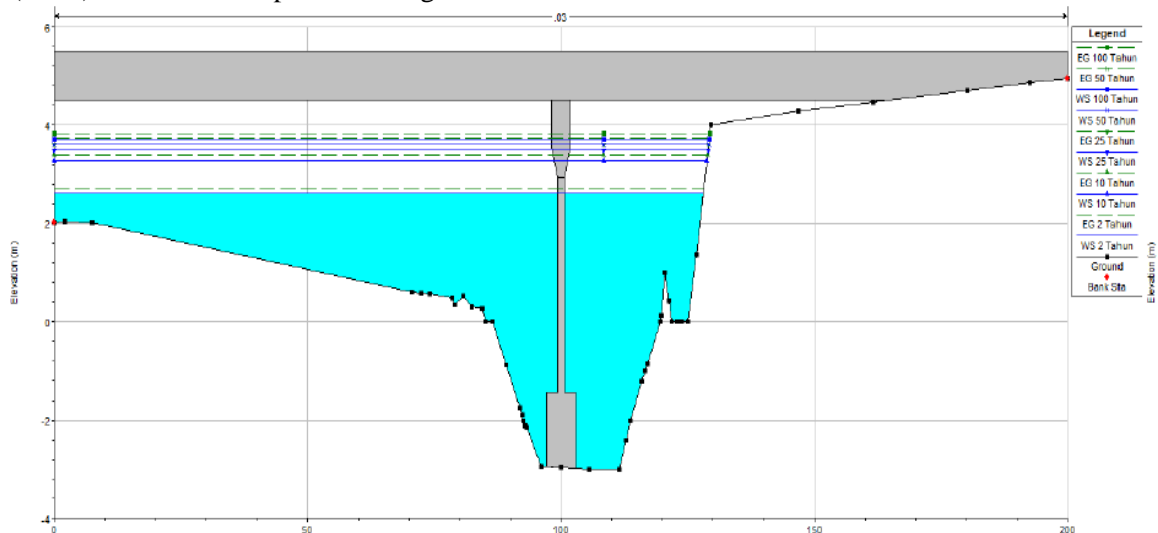
Berdasarkan analisis gerusan, didapatkan hasil bahwa gerusan pada pier semakin besar seiring dengan peningkatan bilangan Froude, dan kecepatan aliran. Potensi gerusan dari hasil analisis program Hec-ras pada lokasi jembatan cukup tinggi, yaitu berkisar antara (3 – 5) meter untuk debit periode ulang 2 hingga 100 tahun. Sedangkan dari hasil analisis secara empiris (metode CSU) diperoleh kedalaman gerusan berkisar antara (4 – 6) meter. Untuk periode ulang 100

tahun, besarnya kedalaman gerusan berdasarkan program Hec-ras sebesar 5,03 m dan metode CSU sebesar 5,91 meter.

Analisis kedalaman gerusan dilakukan juga pada jembatan Cipunegara. Jembatan Cipunegara dibangun pada tahun 1980 dan terletak pada ruas jalan yang menghubungkan perbatasan kota Pamanukan–Sewo, Kabupaten Subang Propinsi Jawa Barat. Jembatan Cipunegara merupakan jembatan yang pernah diganti struktur atasnya tahun 2005 akibat rubuh. Pada tahun 2016 sudah dilakukan penggantian pelat lantai (P2JN Jawa Barat 2019). Dimensi pilar jembatan Cipunegara yaitu :

- Lebar deck = 10 meter
- Lebar pilecap = 5,78 meter
- Lebar pilar = 1,25 meter
- K Manning = 0,03 (diasumsikan bersih, lurus, penuh, tidak ada celah atau aliran alami kolam dalam).

Skema potongan memanjang jembatan Cipunegara ditunjukkan dalam Gambar 8 dan debit rencana yang digunakan adalah debit dengan periode ulang 25, 50, dan 100 tahun sesuai dengan Tabel 3. Karakteristik aliran sungai cipunegara dijelaskan pada Tabel 4.



Gambar 8. Sketsa jembatan Cipunegara (Guntorojati 2019)

Tabel 3. Debit rencana aliran sungai Cipunegara (BBWS Citarum 2016)

| No. | Periode ulang (tahun) | Debit banjir rencana (m ³ /detik) |
|-----|-----------------------|--|
| 1 | 25 | 588,0 |
| 2 | 50 | 614,9 |
| 3 | 100 | 637,7 |

Tabel 4. Karakteristik aliran sungai Cipunegara

| | Profil (tahun) | Q _{total} (m ³ /s) | Mn Ch B (m) | W.S.Elev (m) | Crit W.S (m) | E.G. Elev (m) | E.G. Slope (m/m) | Vel Chnl (m/s) | Flow Area (m ²) | Top Width (m) | Froude # Chl |
|----------|----------------|--|-------------|--------------|--------------|---------------|------------------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------|
| Sta. 500 | 25 | 588,00 | -3,00 | 3,50 | 1,27 | 3,60 | 0,000413 | 1,43 | 410,66 | 129,07 | 0,26 |
| | 50 | 614,90 | -3,00 | 3,62 | 1,34 | 3,73 | 0,000399 | 1,44 | 426,74 | 129,21 | 0,25 |
| | 100 | 637,70 | -3,00 | 3,73 | 1,40 | 3,83 | 0,000388 | 1,45 | 440,32 | 129,33 | 0,25 |
| Sta. 490 | 25 | 588,00 | -2,92 | 3,34 | 1,23 | 3,56 | 0,001435 | 2,09 | 280,77 | 128,80 | 0,45 |
| | 50 | 614,90 | -2,92 | 3,48 | 1,34 | 3,69 | 0,001289 | 2,06 | 298,24 | 129,03 | 0,43 |
| | 100 | 637,70 | -2,92 | 3,59 | 1,42 | 3,80 | 0,001186 | 2,04 | 312,80 | 129,23 | 0,42 |
| Sta. 477 | 25 | 588,00 | -3,00 | 2,92 | | 3,48 | 0,001657 | 3,30 | 178,10 | 44,41 | 0,53 |
| | 50 | 614,90 | -3,00 | 3,03 | | 3,60 | 0,001702 | 3,37 | 182,73 | 45,19 | 0,53 |
| | 100 | 637,70 | -3,00 | 3,11 | | 3,71 | 0,001769 | 3,41 | 186,75 | 46,57 | 0,54 |

Tabel 5. Gerusan maksimum pada jembatan Cipunegara untuk periode ulang 100 tahun

| Pilecap di atas dasar sungai pada STA 490 | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Periode ulang (tahun) | Kedalaman Aliran, y ₁ (m) | Debit (m ³ /detik) | Kecepatan Aliran (m/detik) | Bilangan Froude | Scouring Hec-ras (m) | Scouring Pilar Hec-ras (m) | Scouring Maksimum (m) |
| 100 | 3,40 | 637,7 | 1,45 | 0,25 | 0,65 | 6,41 | 7,06 |
| Pilecap di bawah dasar sungai pada STA 490 | | | | | | | |
| 100 | 3,40 | 637,7 | 1,45 | 0,25 | 0,58 | 2,37 | 2,95 |

Berdasarkan Tabel 5, analisis Hec-ras untuk periode ulang banjir 100 tahun, nilai kedalaman aliran (y₁) adalah 3,40 meter, debit banjir rencana 637,7 m³/detik, kecepatan aliran 1,45 m/detik, bilangan Froude 0,25, dan kedalaman gerusan maksimum berada dalam rentang 7,06 meter.

PEMBAHASAN

Untuk penanganan pilar terhadap gerusan dilakukan metode penanganan dengan memasang *rip-rap* pada pilar jembatan. *Rip-rap* bukan merupakan pelindung permanen terhadap jembatan, tetapi merupakan pelindung terhadap potensi gerusan pada pilar jembatan. Adapun persyaratan perencanaan *rip-rap* adalah sebagai berikut:

- a. Tebal lapisan *rip-rap* yang membentang secara horizontal sedikitnya dua kali lebar pilar, yang diukur dari muka pilar;
- b. Bagian atas lapisan *rip-rap* ditempatkan pada elevasi yang sama dengan dasar sungai. Semakin dalam *rip-rap* ditempatkan ke dalam dasar sungai, semakin kecil kemungkinan *rip-rap* bergerak.

- c. Menempatkan bagian bawah lapisan *rip-rap* pada bagian atas dasar sungai tidak dianjurkan. Disarankan untuk menempatkan bagian atas lapisan *rip-rap* pada elevasi yang sama dengan dasar sungai.

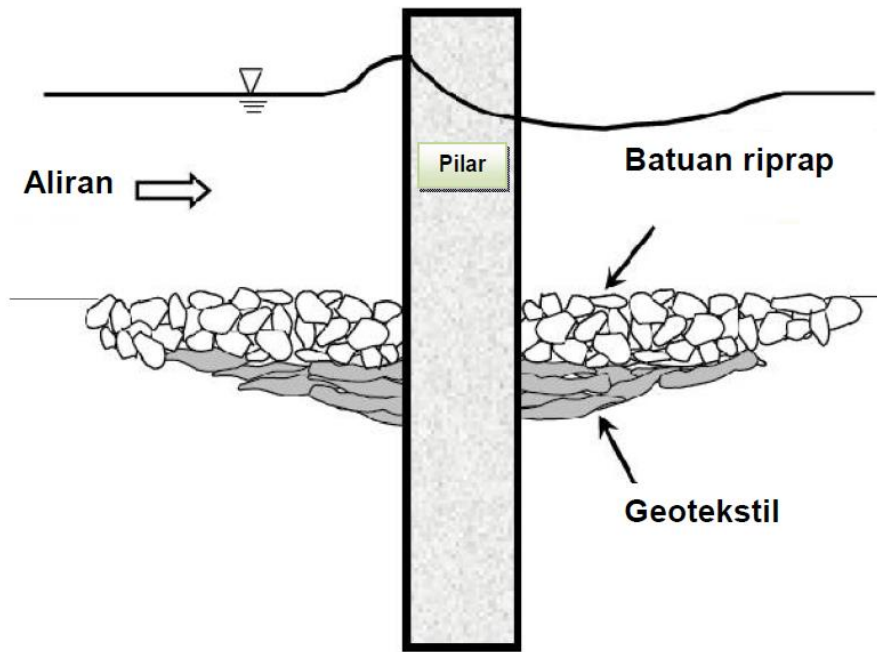
- d. Tebal lapisan *rip-rap* harus tiga kali ukuran diameter batu (D₅₀) atau lebih.

Geotekstil atau lapisan pasir/kerikil harus digunakan untuk menstabilkan *rip-rap*. Ukuran partikel *rip-rap* pada pilar jembatan ditentukan dengan rumus (Richardson, 1990) (5):

$$D_{50} = \frac{0,692 \{V_{des}\}^2}{\{S_g - 1\} 2g} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

- D₅₀ :ukuran partikel 50% lebih halus berdasarkan beratnya (m)
- V_{des} :kecepatan desain untuk kondisi lokal pada pilar (m/s)
- S_g :berat jenis *rip-rap* (biasanya diambil 2,65)
- g :adalah percepatan gravitasi (9,81 m/s²).



Gambar 9. Sketsa perkuatan pilar dengan *rip-rap*

Tabel 6. Parameter penanganan jembatan Cipamingkis dengan *rip-rap*

| No. | Parameter | Pilecap | Satuan |
|-----|--------------------------------|----------------------|---------|
| 1 | V_{des} | 4,21 | m/s |
| 2 | S_g | 2,65 | |
| 3 | g | 9,81 | m^2/s |
| 4 | D_{50} | 0,379 | m |
| 5 | $D_{50\ used}$ | 0,381 | m |
| 6 | $3D_{50}$ | 1,143 | m |
| 7 | Gerusan kontraksi | 0,840 | m |
| 8 | Bed forms | 0 | m |
| 9 | Kedalaman <i>rip-rap</i> | 1,143 | m |
| 10 | Lebar pilar (b) | 6 | m |
| 11 | Rip-rap extent | (1,5 - 2,5) b dan 3b | m |
| 12 | Gerusan sebelum <i>rip-rap</i> | 5,03 | m |
| 13 | Gerusan setelah <i>rip-rap</i> | 2,01 | m |

Kedalaman *rip-rap* diambil yang terbesar dari nilai ini

Karena kedalaman gerusan masih lebih besar daripada kedalaman *rip-rap* desain, gunakan kedalaman gerusan ini sebagai kedalaman *rip-rap*

Tabel 6 merupakan parameter yang digunakan dalam menganalisis penanggulangan gerusan pada pilar jembatan Cipamingkis dengan menggunakan *rip-rap*. Pada Tabel tersebut dijelaskan bahwa kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar jembatan Cipamingkis sebelum diperkuat dengan *rip-rap* adalah 5,03 meter.

Setelah diperkuat dengan *rip-rap*, kedalaman gerusan menjadi 2,01 meter. Tabel 7 menunjukkan parameter yang digunakan dalam menganalisis penanggulangan gerusan pada pilar jembatan Cipunegara dengan menggunakan *rip-rap*.

Tabel 7. Parameter penanganan jembatan Cipunegara dengan *rip-rap*

| No. | Parameter | Pilecap | Satuan |
|-----|--------------------------------|----------------------|--------|
| 1 | V_{des} | | m/s |
| 2 | S_g | | 2,65 |
| 3 | g | | 9,81 |
| 4 | D_{50} | | 0,045 |
| 5 | $D_{50\ used}$ | | 0,152 |
| 6 | $3D_{50}$ | | 0,456 |
| 7 | Gerusan kontraksi | | 0,650 |
| 8 | Bed forms | | 0 |
| 9 | Kedalaman <i>rip-rap</i> | | 0,650 |
| 10 | Lebar pilar (b) | | 5,78 |
| 11 | Rip-rap extent | (1,5 - 2,5) b dan 3b | m |
| 12 | Gerusan sebelum <i>rip-rap</i> | | 7,06 |
| 13 | Gerusan setelah <i>rip-rap</i> | | 2,56 |



Kedalaman *rip-rap* diambil yang terbesar dari nilai ini



Karena kedalaman gerusan masih lebih besar daripada kedalaman *rip-rap* desain, gunakan kedalaman gerusan ini sebagai kedalaman *rip-rap*

Berdasarkan Tabel 7, penanganan gerusan dengan *rip-rap* pada pilar jembatan Cipunegara berkurang dari 7,06 meter menjadi 2,56 meter. Penanganan pilar dengan menggunakan *rip-rap* harus memenuhi spesifikasi dan standar ukuran butiran batuan. Tabel 8 menunjukkan spesifikasi butiran

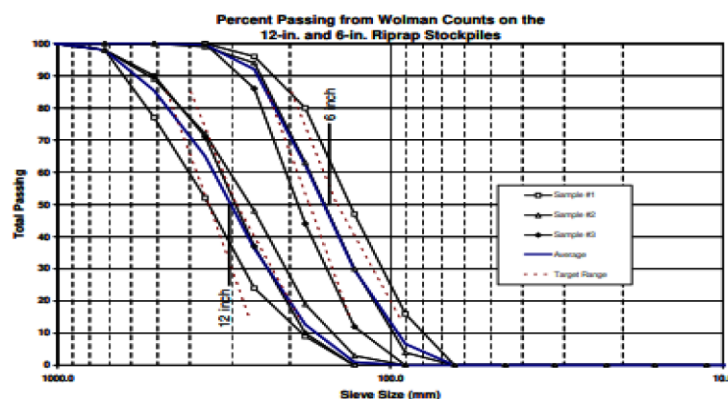
batuan *rip-rap* yang digunakan untuk perkuatan pilar. Pemasangan *rip-rap* pada pilar jembatan Cipunegara dan Cipamingkis dapat mengurangi terjadinya proses gerusan sebesar 60% sampai dengan periode 100 tahun. Kurva gradasi ukuran batuan *rip-rap* ditunjukkan dalam Gambar 10.

Tabel 8. Ukuran butiran batuan *rip-rap*

| No. | Diameter partikel nominal <i>rip-rap</i> | | D ₁₅ | | D ₅₀ | | D ₈₅ | |
|-----|--|------------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | Kelas | Ukuran (m) | Min | Maks | Min | Maks | Min | Maks |
| 1 | I | 0,152 | 0,094 | 0,132 | 0,145 | 0,175 | 0,198 | 0,234 |
| 2 | II | 0,229 | 0,140 | 0,198 | 0,216 | 0,267 | 0,292 | 0,356 |
| 3 | III | 0,305 | 0,185 | 0,267 | 0,292 | 0,356 | 0,394 | 0,470 |
| 4 | IV | 0,381 | 0,234 | 0,330 | 0,368 | 0,445 | 0,495 | 0,584 |
| 5 | V | 0,457 | 0,279 | 0,394 | 0,432 | 0,521 | 0,597 | 0,699 |
| 6 | VI | 0,533 | 0,330 | 0,470 | 0,508 | 0,610 | 0,699 | 0,826 |
| 7 | VII | 0,610 | 0,368 | 0,533 | 0,584 | 0,699 | 0,787 | 0,940 |
| 8 | IX | 0,762 | 0,470 | 0,660 | 0,724 | 0,876 | 0,991 | 1,168 |
| 9 | X | 0,914 | 0,559 | 0,800 | 0,864 | 1,054 | 1,194 | 1,410 |
| 10 | X | 1,067 | 0,648 | 0,927 | 1,016 | 1,232 | 1,384 | 1,638 |

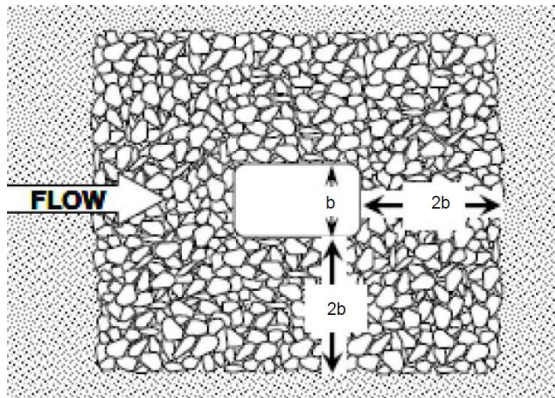


Ukuran butiran batuan *rip-rap*



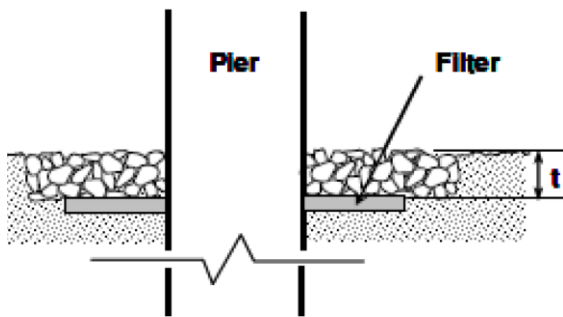
Gambar 10. Kurva gradasi ukuran batuan *rip-rap*

Analisis penanganan gerusan pilar mengacu pada pedoman Hec-23 Design Guideline 11 (Pier Scour Countermeasure) sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Sketsa tampak atas bentuk *rip-rap*

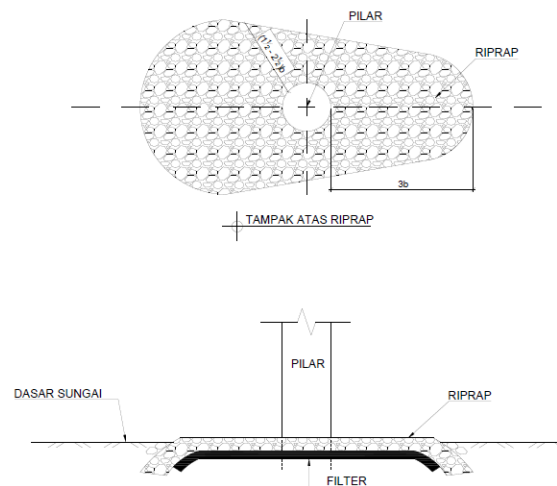
Berdasarkan Gambar 11, untuk kondisi aliran normal lebar *rip-rap* adalah 2 kali lebar pilar.



Gambar 12. Sketsa tampak samping bentuk *rip-rap*

Berdasarkan Gambar 12, ketebalan *rip-rap* minimum t adalah $3D_{50}$, kedalaman gerusan kontraksi dan degradasi jangka panjang, atau kedalaman *bedform*, diambil yang paling besar. Penempatan filter adalah $4/3(b)$ terhadap pilar (semua sekeliling). Hasil analisis desain *rip-rap* untuk jembatan Cipunegara ditunjukkan dalam Gambar 13.

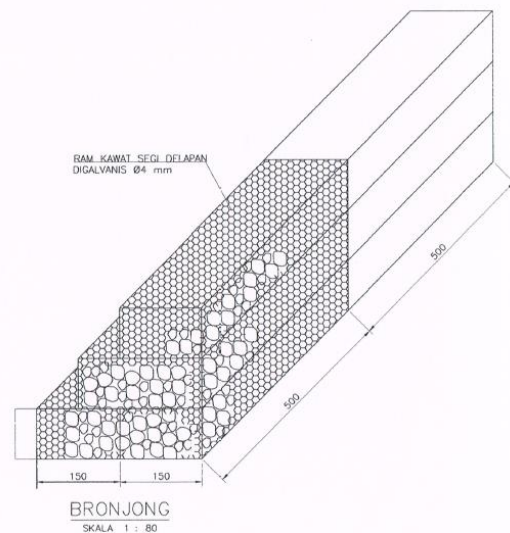
CIPUNEGARA $\rightarrow b = 5780 \text{ mm}$



Gambar 13. Sketsa bentuk *rip-rap* jembatan Cipunegara

Berdasarkan Gambar 13, lebar pilar (b) lebih kecil dari lebar pilecap terekspos 5,78 m, yang berlaku untuk desain *rip-rap*, maka jarak *rip-rap extent* adalah antara (8 – 14) m dan 17 m. Ketebalan *rip-rap* minimum adalah 0,456 m. Untuk material dasar D_{50} (0,045 m), maka berdasarkan rumus (1), D_{50} (filter) $< 1,8$ m sehingga diambil D_{50} (filter) = 1,5 m. Perlu dicatat ada dua jembatan Cipunegara berjajar yang dibahas adalah jembatan dua bentang masing-masing 50 meter dan satu pilar di tengah sungai. Jembatan satu bentang tanpa pilar tidak dibahas.

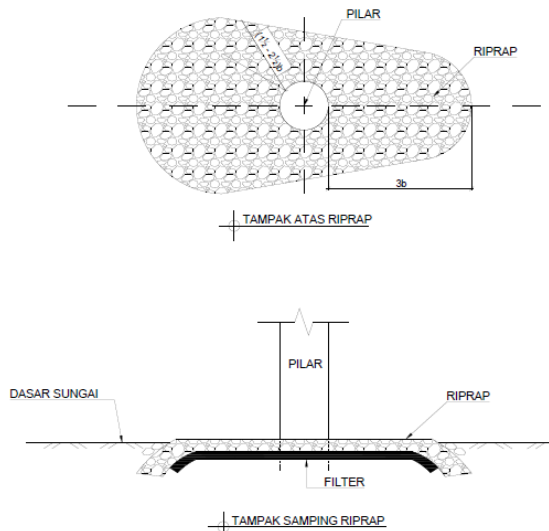
Perkuatan dinding penahan tanah pada jembatan Cipunegara dibuat dengan menggunakan bronjong sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Skema pemasangan bronjong pada dinding penahan tanah

Analisis penanganan gerusan dengan *rip-rap* dilakukan sama pada jembatan Cipamingkis, Hasil desain *rip-rap* pada jembatan Cipamingkis ditunjukkan pada Gambar 15.

□ CIPAMINGKIS → $b = 6000$ mm



Gambar 15. Sketsa bentuk *rip-rap* jembatan Cipamingkis

Berdasarkan Gambar 15, lebar pilar (b) untuk jembatan Cipamingkis adalah 6 m, maka jarak *rip-rap extent* adalah antara (9 – 15) m dan 18 m. Ketebalan *rip-rap* minimum adalah 1,143 m. Untuk material dasar D_{50} (0,045 m), maka berdasarkan rumus (1), D_{50} (filter) < 1,8 m sehingga diambil D_{50} (filter) = 1,5 m.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Jembatan Cipunegara dan jembatan Cipamingkis terletak di lokasi sungai yang berpotensi dapat terjadinya gerusan pada jembatan. Untuk mencegah terjadinya keruntuhan akibat proses gerusan perlu dilakukan usaha-usaha pemeriksaan dan evaluasi penanganan gerusan untuk beberapa periode ulang tertentu. Kedalaman gerusan untuk periode ulang banjir 100 tahun pada pilar jembatan Cipunegara adalah 7 meter dan untuk jembatan Cipamingkis adalah 5 meter. Penanganan gerusan untuk jembatan Cipunegara dan Cipamingkis dapat dilakukan dengan menggunakan *rip-rap*.

Faktor bentuk dan dimensi pilar menjadi parameter utama yang perlu diperhitungkan dalam melakukan analisis gerusan. Keruntuhan

jembatan akibat gerusan dapat dihindari dengan melakukan mitigasi penanganan berupa perkuatan disekitar pilar maupun kepala jembatan. Pemasangan *rip-rap* pada pilar jembatan Cipunegara dan Cipamingkis dapat mengurangi terjadinya proses gerusan sebesar 60% sampai dengan periode 100 tahun. Pemeliharaan *rip-rap* jika direncanakan dengan baik akan memerlukan perawatan yang sangat sedikit.

Saran

Diperlukan data teknis jembatan dan data sungai yang lebih detil agar analisis dan penanganan gerusan dapat menjadi lebih akurat serta perlu dilakukan penelitian studi kasus terjadinya gerusan pada kepala jembatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Direktur Bina Teknik Dirjen Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas dukungan kegiatan penelitian yang sangat bermanfaat dan PT. Wiratman Chodai Indonesia sebagai mitra kerjasama dalam melakukan analisis mitigasi bencana gerusan.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Citarum. 2016. "Peningkatan kapasitas sungai Cipunegara". Kementerian PUPR
- Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang Jawa Barat. 2017. "As Built Drawing Paket Rehabilitasi Jembatan Cipamingkis". Kementerian PUPR
- Direktorat Jenderal Bina Marga (DJBM), Departemen Pekerjaan Umum. 1993. Panduan Penyelidikan jembatan, Bab 8 Perlindungan Terhadap Gerusan.
- Federal Highway Administration (FHWA). 2009. Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance-Third Edition. Washington, D.C.: FHWA.
- Guntorojati. 2019. "Studi Kasus Mitigasi Risiko Gerusan Dan Aplikasi Penanganannya Pada Jembatan Di Indonesia". Focuss Group Discussion.
- Lutjito, Didik Purwantoro dan Sudiyono. 2015. "Gerusan Di Sekitar Dua Pilar Jembatan

- Dan Upaya Pengendaliannya”. Laporan penelitian unggulan Universitas Negeri Yogyakarta.
- Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional (P2JN) Provinsi *Jawa Barat*. “Laporan Identifikasi Awal dan Survei Pendahuluan Jembatan Cipunegara A, 2019. Kementerian PUPR
- Rustiati, Nina B. 2007. Gerusan Lokal di Sekitar Abutment Jembatan Labuan. *Jurnal SMARTek* 5(3): 157-165.
- Setyawan, A., Arie S. Sibarani dan Syahroni. 2017. Analisa Penentuan Perletakan Jembatan Sungai Mentawai, Desa Cipang Kiri Hilir, Kecamatan Rokan IV Koto, Kabupaten Rokan Hulu. *Jurnal Mahasiswa Teknik* 3(1):1-8.
- Taguchi, N. and Julie M. Sykes. 2013. Chapter 1. Introduction. In *Technology in Interlanguage Pragmatics Research and Teaching* 1–15. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.