

GERUSAN LOKAL DISEKITAR ABUTMENT JEMBATAN LABUAN

Nina Bariroh Rustiati *

Abstract

Scouring occurs naturally as a part of the morphologic changes of river and as the result of man-made structures. Experience has shown all too often that scouring can progressively undermine the foundation of a structure. The aim of research is to know the local scouring depth around the abutment of Labuan's bridge at flooding condition. An also analyses the scour protection by using riprap methods. The result of research is indicate that the scouring at 1.345 m in depth for the Garde and Raju's equation in 50 years period and 1.169 m in 25 years. For the Hoffmans's equation the depth of scouring is 1.323 m in 50 years and 1.224 m in 25 years. The protection method of local scouring by riprap for each layer filter is 0.28 m. with the rock's size at first layer is 80 mm, the second one is 50 mm and the last layer is 300 mm. The riprap dimension obtained 30 m at length, 12 m in width and 1.4 m at height, the size of rock is 30.27 cm.

Keyword: local scouring, abutment, riprap method

Abstrak

Secara alamiah, gerusan dihasilkan sebagai bagian dari perubahan morfologi sungai dan hasil bangunan buatan manusia. Percobaan laboratorium menunjukkan bahwa gerusan secara progresif merusak pondasi bangunan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kedalaman gerusan lokal disekitar abutment jembatan Labuan pada kondisi banjir. Serta untuk menganalisa metode perlindungan gerusan menggunakan riprap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk persamaan dari Garde dan Raju dihasilkan kedalaman gerusan 1.345 m untuk kala 50 tahun dan 1.224 m untuk kala 25 tahun. Sedangkan dari Hoffmans diperoleh 1.323 m untuk 50 tahun dan 1.224 m untuk 25 tahun. Metode perlindungan untuk gerusan lokal dengan riprap adalah tebal masing-masing filter 0.28 m, dengan ukuran batuan pertama 80 mm, kedua 50 mm dan ketiga 300 mm. Dimensi riprap panjang nya 30 m, lebar 12 m dan tinggi 1.4 m. Ukuran batuan 30.27 cm

Kata kunci: gerusan lokal, abutment, metode riprap

1. Pendahuluan

Salah satu komponen dasar transportasi adalah jembatan. Jembatan mempunyai fungsi memperlancar transportasi antara dua tempat. Struktur jembatan umumnya terdiri dari dua bagian penting yaitu struktur bagian atas dan struktur bagian bawah berupa pilar dan abutment. Abutment adalah bagian konstruksi jembatan yang terletak ditepi sungai yang merupakan pangkal jembatan yang berfungsi sebagai tumpuan beban

jembatan. Walaupun terletak ditepi sungai, namun sebagaimana halnya pilar jembatan, dasar sungai di sekitar abutment dapat pula mengalami gerusan yang diakibatkan oleh perubahan pola aliran, karena struktur abutment selalu berhubungan langsung dengan aliran sungai. Jembatan yang melintas di atas suatu sungai mempengaruhi karakteristik aliran, utamanya aliran balik (*back water*) yang diakibatkan terhambatnya aliran akibat abutment jembatan.

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

Peningkatan arus yang melintas di bawah jembatan dan aliran turbulen yang terbentuk adanya tebing sungai menghasilkan gerusan lokal (*local scouring*) yang membahayakan struktur jembatan. Abutment jembatan yang berada dalam aliran air menyebabkan terhambatnya aliran selain juga akibat adanya abutmen jembatan. Perubahan aliran akibat adanya abutment jembatan mengakibatkan peningkatan arus disekitar pilar. Peningkatan ini membawa dampak tergerusnya sedimen ataupun material yang terendapkan di sekitar abutment.

Gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment adalah kejadian turunnya dasar sungai di sekitar abutment akibat adanya system pusaran (*vortex system*) yang timbul akibat terhalangnya aliran oleh abutment. Aliran yang menuju abutment akan membentuk aliran vertikal kearah dasar yang selanjutnya menyebabkan terkikisnya dasar sungai di sekitar abutment. Mengingat bahaya yang ditimbulkan akibat gerusan lokal ini maka berbagai upaya dilakukan untuk pengamanan maupun pengendalian gerusan lokal antara lain perlindungan dengan metode riprap. Untuk itu diperlukan suatu kajian untuk mengidentifikasi gerusan lokal di sekitar abutment guna pencegahan kerusakan yang berlanjut runtuhnya jembatan sekaligus pengendalian gerusan lokal yang terjadi.

Objek penelitian:

Yang menjadi objek penelitian ini adalah abutmen jembatan Labuan yang terletak kurang lebih 30 Km kearah Utara dari Kota Palu, Sulawesi Tengah. Dengan panjang jembatan sekitar 30 m dan bentang 5 m.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian angkutan sedimen

Sungai merupakan saluran alam yang memiliki aliran tidak permanent dan tak seragam (*unsteady and non uniform flow*). Karenanya permasalahan yang timbul akibat fluktuasi aliran

menjadi sangat kompleks. Karakteristik sungai/ saluran dapat dibagi dua yaitu fase cair (*liquid phase*) dan fase padat (*solid phase*). Fase cair direpresentasikan oleh rapat massa sediment (ρ_s), kekentalan zat cair (μ), kecepatan merata aliran (U) dan kecepatan gesek aliran (U^*). Sedang untuk fase padat yang perlu dipertimbangkan adalah ukuran butiran sediment (d_{30} , d_{50} , d_{65} dan d_{90}), bentuk partikel sediment, berat massa sediment (ρ_s), kecepatan endap sediment (W) dan adanya kemungkinan sifat kohesi antar partikel. Semua parameter tersebut sangat bervariasi dan tergantung dari sample yang diambil untuk dianalisa lebih lanjut.

Graf (1971) menyebutkan bahwa pergerakan partikel sedimen dapat di tengarai dengan :

- a. Apabila nilai $\frac{u^*}{W} > 0.10$ maka terjadi angkutan sediment *bed load* (angkutan sedimen dasar)
- b. Apabila nilai $\frac{u^*}{W} > 0.40$ maka terjadi angkutan sediment *suspended load* (angkutan sedimen melayang)

Graf dan Altinakar (1998) juga menyebutkan bahwa aliran air pada sungai dengan dasar bergerak (*movable bed*) memiliki kemungkinan terhadap lajunya angkutan sedimen. Gerak sedimen yang dapat berupa erosi, deposisi dan angkutan sedimen tidak saja akan merubah aliran tetapi juga merubah dasar sungai/saluran yakni tinggi elevasi dasar, kemiringan dasar dan kekasaran butiran penyusun dasar sungai/saluran.

Dalam aliran sedimen, fase padat yang bergerak sebagai :

- a. Muatan dasar (*bed load*), q_{sb} , debit sedimen per satu satuan lebar ($m^3/d.m$). Terjadi saat partikel berada dekat sekali dengan dasar, partikel bergerak menggelincir, berputar atau (sedikit) melompat. Model pergerakan ini terjadi pada partikel yang relatif besar.

- b. Muatan suspensi (*suspended load*), q_{ss} , terjadi pada partikel yang berada agak dekat dengan dasar. Partikel bergerak dengan melompat (sedikit/banyak) dan berkeliling seputar aliran. Model pergerakan ini terjadi pada partikel yang relatif lebih kecil.
- c. Muatan dasar dan suspensi. Lebih dikenal dengan muatan total (*total load*), $q_s = q_{sb} + q_{ss}$, terjadi pada partikel yang berada pada sepanjang garis kontak dengan dasar.
- d. Muatan cuci (*wash load*), q_{sw} , terjadi pada partikel yang hampir tidak pernah berada dekat dasar, partikel ini selalu berada pada tampang melintang aliran. Model pergerakan ini terjadi pada partikel yang relatif halus.

2.2. Mekanisme angkutan sedimen

Karena adanya perubahan aliran, timbul gaya-gaya yang bekerja pada material butiran sedimen. Gaya-gaya ini mempunyai tendensi untuk menggerakkan material sedimen. Untuk material kasar (pasir dan batuan) gaya yang melawan gaya-gaya aliran tergantung dari berat material sedimen. Sedangkan untuk material halus (lanau dan lempung) gaya yang melawan aliran lebih disebabkan oleh kohesi dari pada berat material.

Pada waktu gaya-gaya aliran yang bekerja pada material butiran sedimen mencapai nilai tertentu, dimana apabila gaya itu akan bertambah sedikit akan menggerakkan material butiran, maka kondisi ini dinamakan kondisi kritik material butiran sedimen. Parameter aliran pada kondisi tersebut seperti tegangan gesek dasar (τ_0) dan kecepatan aliran (u) juga mencapai kritik. Apabila gaya-gaya aliran dibawah nilai kritik maka butiran sedimen tidak bergerak, dasar saluran mengalami "*rigid bed*", sedangkan apabila gaya-gaya aliran berada di atas nilai kritik, maka butiran sedimen akan bergerak, dasar saluran mengalami "*movable bed*".

Tegangan gesek dasar (τ_0) adalah gaya akibat gesekan pada dasar yang merupakan gaya penghambat terhadap gaya pendorong (gaya hidrostatis, gaya tekanan atmosfer dan berat massa air) pada aliran. Berdasar prinsip kesetimbangan (*equilibrium concept*) gaya pendorong sama dengan gaya penghambat sehingga tegangan gesek dasar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau_0 = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot S_f \dots\dots\dots(1)$$

Shields (1936) memasukkan kecepatan geser dasar (u^*) dalam mengembangkan persamaan angkutan sediment untuk butiran seragam pada dasar rata dan hubungan antara tegangan geser dasar (τ^*) tak berdimensi dengan gesekan atau bilangan Reynold butiran (Re) sebagai berikut :

$$\tau^* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d} = f \left(\frac{u^* d_m}{\nu} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Gambar 1. adalah grafik dari Shield yang menunjukkan hubungan antara kecepatan geser dasar (\bar{u}) dan ukuran butiran (d_m) dimana akan menggambarkan apakah suatu butiran material akan mengalami erosi, sedimentasi atau bergerak (*transport*).

2.3. Proses Gerusan lokal disekitar abutment

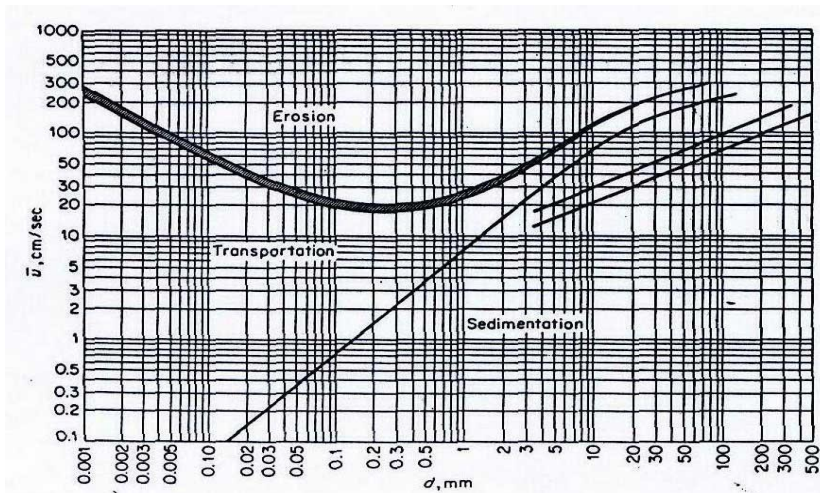
Gerusan (*scouring*) adalah suatu gejala alamiah yang diakibatkan oleh gerakan aliran air yang mengalami hambatan di suatu sungai. Kebanyakan bagian yang tergerus adalah material endapan, disamping juga batu-batu besar dan kecil. Beberapa percobaan menunjukkan bahwa gerusan seringkali menyebabkan kerusakan struktur bangunan (jembatan) secara progresif. Dikarenakan perlindungan terhadap gerusan biasanya sangat mahal, maka dicari jalan untuk mengontrol proses yang terjadi guna mengurangi resiko keruntuhan. Gerusan terjadi secara alamiah sebagai bagian dari

perubahan morfologi sungai dan juga merupakan akibat dari konstruksi buatan manusia. Dalam perkembangan sejarah kehidupan, perubahan aliran sungai akibat dibangunnya suatu konstruksi bangunan air oleh manusia telah membawa dampak yang signifikan terhadap morfologi aliran sungai..

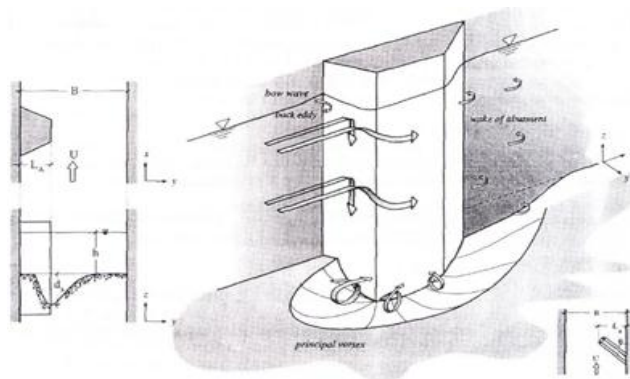
Gerusan lokal disekitar pilar jembatan merupakan fenomena kompleks yang merupakan hasil interaksi aliran turbulen 3 dimensi di sekitar jembatan dan sedimen dasar sungai yang tererosi. Pilar yang terisolasi akibat perubahan aliran ini akan merubah permukaan dasar sungai yang bergerak

(mobile bed), sehingga gerusan di sekitar pilar merupakan konsekuensi dari padanya. Intensitas dari gerusan yang diartikan dalam tinggi gerusan tergantung dari aliran, sedimen dari dasar, bentuk geometri dan alinemen dari pilar.

Mekanisme gerusan lokal ini tergantung secara mendasar pada perilaku pusaran tumit kuda (*horse-shoe vortex*) karena arus bawah yang terjadi di depan pilar. Saat kapasitas gerusan yang terjadi karena kecepatan pusaran cukup kuat dan mampu membawa partikel dasar maka proses gerusan terjadi.



Gambar 1. Hubungan antara diameter butiran dan kecepatan



Gambar 2. Profil Aliran disekitar abutment jembatan

Kedalaman gerusan tergantung dari beberapa variable yaitu karakteristik aliran, material butiran sedimen, aliran dalam saluran dan bentuk abutmen :

$$d_s = f(\rho_w, v, g, d_m, \rho_s, h_0, u, b) \dots\dots(3)$$

Jika persamaan di buat tidak berdimensi, maka persamaan di atas menjadi

$$\frac{d_s}{b} = f\left(\frac{ub}{v}, \frac{u^2}{gb}, \frac{h_0}{b}, \frac{d_m}{b}, \Delta\right) \dots\dots(4)$$

$$\frac{d_s}{b} = f\left(\frac{u^*b}{v}, \frac{\rho u^2}{g(\rho - \rho_s)}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{h_0}{b}, \frac{d_m}{b}, \Delta\right) \dots(5)$$

$$\frac{d_s}{b} = f\left(\frac{u^*b}{v}, \frac{u^2}{gd\Delta}, \frac{h_0}{b}, \frac{d_m}{b}, \Delta\right) \dots\dots(6)$$

Persamaan Garde dan Raju (1997) digunakan pada gerusan lokal disekitar pilar dan abutmen jembatan untuk aliran *clear-water scour* dan *live-bed scour*, menghitung kedalaman gerusan

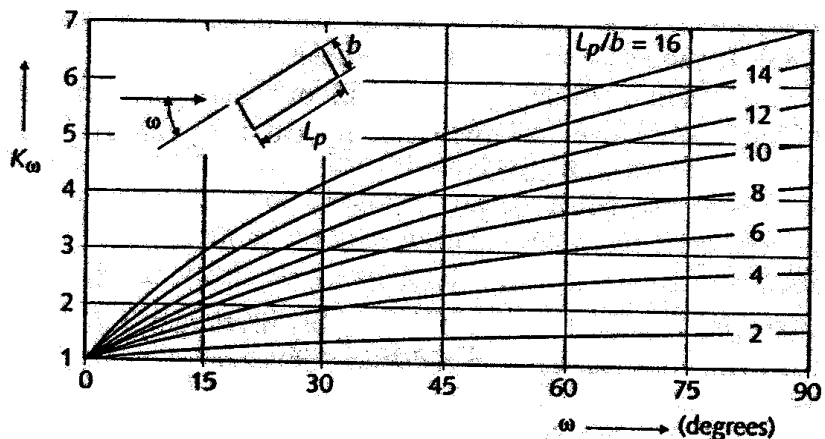
$$\frac{d_m}{b} = \frac{4.0}{\alpha} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \left[\frac{U}{\sqrt{gh_0}} \right]^{n^*} \dots\dots(7)$$

Dengan nilai h_1 h_2 h_3 h_4 merupakan koefisien ukuran butiran, lebar abutmen, sudut datang dan bentuk geometri abutmen. Sedangkan Hoffmans (1995) memberikan nilai yang cukup besar untuk memprediksikan kedalaman gerusan pada kondisi *live-bed scour*

$$d_s = h_0 \left((1-m)^{-2/3} - 1 \right) + K_B b \tanh\left(\frac{h_0}{b}\right) \dots(8)$$

Tabel 1. Variasi nilai η_1 (koefisien ukuran butiran) dan n (fungsi ukuran sedimen dan geometri halangan) terhadap d (distribusi ukuran butiran)

d(mm)	0.29	0.45	1	2.15	4	7.5	10.5
η_1	1	1.09	1.15	1.0	0.85	0.66	0.54
N	0.68	0.75	0.85	0.93	1.05	0.9	0.85



Gambar 3. Pengaruh koefisien η_3 terhadap sudut datang aliran

Tabel 2. Koefisien bentuk abutmen

Shape	η_s
Rectangular	1.00
Circular (or semicircular)	0.81- 0.90
Lenticular nose (2 : 1)	0.80
(3 : 1)	0.70
(4 : 1)	0.56
Joukowsky (5 : 1)	0.67
Elliptic nose (2 : 1)	0.80
(3 : 1)	0.75
Triangular nose 15° apex angle	0.38
30°	0.52
60°	0.64
90°	0.75
120°	0.80
150°	0.86

2.4. Penanggulangan Gerusan

Tindakan pencegahan terjadinya gerusan lokal disekitar abutmen padat dilakukan dengan mengurangi efek erosi pada aliran dan pusaran tumit kuda (*horse-shoes vortex*). Kedalaman gerusan maksimum pada lubang gerusan merupakan faktor kritik keruntuhan pilar dan abutmen jembatan. Beberapa percobaan membuktikan bahwa ada beberapa metode untuk mengurangi tingginya gerusan lokal di pilar dan abutmen jembatan.

Metode yang paling umum adalah membuat rip-rap yakni dengan menempatkan batu-batuan kedalam lubang gerusan yang paling potensial. Ukuran rip-rap dihitung dengan menggunakan kriteria stabilitas dari Izbash atau Shield, apabila kecepatan aliran kritik maksimum ($U^*_{cr \text{ max}}$) diketahui. Dengan menggunakan teori potensial, tegangan geser maksimum dan kecepatan aliran maksimum di dekat pilar atau abutmen tipe silinder, Bonosoundas (1973) menganjurkan dimensi rip-rap dengan lebar $6d$, panjang $7b$, ketebalan $b/3$, dimana b adalah lebar pilar dan d adalah dimensi batuan. Ukuran minimum batuan d_r (cm) adalah:

$$d_r = 6 - 3.3U + 4U^2 \dots\dots\dots(9)$$

Hubungan empiris antara kecepatan kritik atau kecepatan awal gerak butiran dengan ukuran batuan yang digunakan dalam rip-rap adalah:

$$U_{kr} = 4.92\sqrt{d_r} \dots\dots\dots(10)$$

Dalam penyusunan batuan rip-rap, hendaknya ditambahkan lapisan filter sebagai lapisan pelindung untuk mencegah masuknya air melalui sela-sela batuan rip-rap yang kemudian akan menggerus lapisan dasar rip-rap. Simon dan Sentürk (1976) mengemukakan bahwa lapisan filter terdiri dari dua macam yakni sand gravel filter dan plastic filter cloth. Tebal lapisan filter sangat tergantung dari lapisan rip-rap tidak boleh kurang dari 6-9 inc(15-23 cm). Tebal lapisan dapat ditentukan sebesar kurang dari 1.5 dari lapisan rip-rap. Susunan butiran untuk filter dapat mengikuti batasan berikut :

$$\frac{d_{50}(\text{filter})}{d_{50}(\text{base})} < 40 \dots\dots\dots(11)$$

$$5 < \frac{d_{15}(\text{filter})}{d_{15}(\text{base})} < 40 \dots\dots\dots(12)$$

$$\frac{d_{15}(\text{filter})}{d_{85}(\text{base})} < 5 \dots\dots\dots(13)$$

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Hasil penelitian

Gerusan dengan air bersedimen (*live-bed scour*)

a. Persamaan Garde dan Raju

Parameter yang diketahui :

Lebar abutmen = 4 m

Panjang abutmen = 10 m

Kedalaman aliran (h) = 0.4396 m

Kecepatan aliran (U) = 2.9323 m/dt

$$\frac{d_m}{b} = \frac{4.0}{\alpha} \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \left[\frac{U}{\sqrt{g h_0}} \right]^n$$

$$d_m = d_s + h_0$$

$$\alpha = \frac{B-b}{B} = \frac{147-4}{147} = 0.9$$

$$\frac{d_m}{0.4396} = \frac{4.0}{0.9} (0.64)(1)(1.05)(1) \left[\frac{2.9323}{\sqrt{9.81 \cdot 0.4396}} \right]^{0.892}$$

$$\frac{d_m}{0.4396} = 4.44 \cdot 0.672 \cdot 1.3610 = 4.06079$$

$$\frac{h_0 + d_s}{h_0} = 4.06079$$

$$d_s = 1.34552m$$

b. Persamaan Hoffmans

Parameter yang diketahui :

Lebar abutmen = 4 m

Kedalaman aliran (h) = 0.4396 m

Lebar sungai (B) = 147 m

m = b/B = 4/147 = 0.0272

Faktor koreksi bentuk abutmen/pilar (K_B) = 3.0

$$d_s = h_0 \left((1-m)^{-2/3} - 1 \right) + K_B \cdot b \tanh \left(\frac{h_0}{b} \right)$$

$$= 0.4396 \left((1-0.0272)^{-2/3} - 1 \right) + 3.0 \cdot 4 \tanh \left(\frac{0.4396}{4} \right)$$

$$= 1.32264m$$

c. Strategi bentuk perlindungan terhadap abutmen/pilar jembatan

Perhitungan desain rip-rap

Parameter yang diketahui :

Lebar abutmen (b) : 4 m

Panjang abutmen (l) : 10 m

Lebar sungai (B) : 147 m

Kecepatan aliran (U) : 2.93 m/dt

Distribusi ukuran material dasar : d₁₅ =

1.3 mm ; d₅₀ = 8 mm ; d₈₅ = 19 mm

Tinggi poer : 1.35 m

a. filter untuk rip-rap

$$\frac{d_{50}(\text{filter})}{d_{50}(\text{base})} < 40$$

$$\frac{d_{50}(\text{filter})}{8} < 40$$

$$d_{50}(\text{filter}) < 320 \text{ mm}$$

Diambil d₅₀(filter) = 300 mm

Cek : 300/8 = 37.5 < 40 (ukuran batu dapat digunakan)

b. filter untuk rip-rap

$$5 \left(\frac{d_{15}(\text{filter})}{d_{15}(\text{base})} \right) < 40$$

$$5 \left(\frac{d_{15}(\text{filter})}{1.3} \right) < 40$$

direncanakan d₁₅(filter) = 50 mm

Cek : 5 < 50/1.3 = 38.46 < 40 (ukuran batu dapat digunakan)

c. filter untuk rip-rap

$$\frac{d_{15}(\text{filter})}{d_{85}(\text{base})} < 5$$

$$\frac{d_{15}(\text{filter})}{19} < 5$$

direncanakan d₁₅(filter) = 80 mm

Cek : 80/19 = 4.21 < 5 (ukuran batu dapat digunakan)

d. Dimensi Rip-rap

Lebar = 6 * 1/2 b = 6 * 1/2 * 4 = 12 m

Panjang = 7 * b = 7 * 4 = 28 m

Menurut Bonosoundas (1973) rip-rap ditempatkan didepan abutmen, oleh karena itu dimensi panjang rip-rap direncanakan sepanjang 30 m.

3.2 Pembahasan

Hasil pengukuran di lapangan yakni di abutmen Jembatan Labuan menunjukkan sangat kecilnya gerusan lokal yang terjadi. Bahkan selama pengamatan dilakukan (3bulan) hampir tidak ada gerusan lokal. Hal ini disebabkan debit aliran yang melewati abutmen terbagi dalam beberapa ruas gosongan-gosongan pasir dan kerikil. Disamping rendahnya curah hujan yang turun juga mempengaruhi besarnya debit yang mengalir, mengakibatkan material yang terbawa aliran dengan mudah terendapkan di daerah sebelah hilir jembatan. Hal inilah yang mengakibatkan kecilnya gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutmen. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk kala ulang 25 tahun besarnya curah hujan 101,582 mm, sedangkan untuk kala ulang 50 tahun besar curah hujan 113,353 mm. Kecepatan aliran terukur untuk beberapa titik sample 2.93 m/dt. Disamping kedalaman aliran yang sangat rendah yakni 0.4396 m. Sedangkan penelitian ini didasarkan pada perhitungan dengan debit banjir rencana yakni sebesar 189,81 m³/dt untuk kala ulang 50 tahun dan 166.631 m³/dt untuk kala ulang 25 tahun. Dimana data hujan diperoleh stasiun pencatat curah hujan dari kantor Badan Meteorologi dan Geofisika Mutiara Palu. Data hujan yang diperoleh sebanyak 20 tahun mulai tahun 1984 hingga tahun 2003. Perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode Melchior didasarkan pada luasan daerah Pengaliran Sungai Labuan. LUas DAS Labuan 131.438 km² dengan panjang sungai utama 26.15 km, kemiringan daer sungai rata-rata 0.04253. Untuk perhitungan gerusan lokal dengan menggunakan persamaan dari Garde dan Raju, diperoleh kedalaman gerusan maksimum untuk kala ulang 50 tahun sebesar 1.345 m dan kala ulang 25 tahun sebesar 1.169 m. sedang perhitungan dengan persamaan dari Hoffmans diperoleh kedalaman gerusan maksimum yang terjadi untuk kala ulang 50 tahun sebesar 1.322 m dan kala

ulang 25 tahun sebesar 1.224 m. Dimensi riprap yang disarankan untuk perlindungan gerusan dengan debit banjir rencana panjang 30 m, lebar 12 m, ukuran batuan 303 mm dan tebal rirap 1.40 m.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan peneliAn tersebut diatas maka dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa :

- a) Gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutment adalah kejadian turunnya dasar sungai di sekitar abutment akibat adanya system pusaran (*vortex system*) yang timbul akibat terhalangnya aliran oleh abutment.
- b) Tindakan pencegahan terjadinya gerusan lokal disekitar abutmen padat dilakukan dengan mengurangi efek erosi pada aliran dan pusaran tumit kuda (*horse-shoes vortex*). Kedalaman gerusan maksimum pada lubang gerusan merupakan faktor kritik keruntuhan pilar dan abutmen jembatan.
- c) Metode yang paling umum adalah membuat rip-rap yakni dengan menempatkan batu-batuan kedalam lubang gerusan yang paling potensial.
- d) Dimensi riprap yang disarankan untuk perlindungan gerusan dengan debit banjir rencana panjang 30 m, lebar 12 m, ukuran batuan 303 mm dan tebal rirap 1.40 m.

5. Daftar Pustaka

- Breusers, H.N.C., Raudkivi, A.J., 1991, *Scouring*, A.A. Balkema Publisher, Netherland
- Garde, R.J., Raju, K.G.R., 1977, *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. Wiley Western limited, New Delhi
- Graf, W.H., Altinakar, M.S., 1998, *Fluvial Hydraulics*, John Wiley and Sons Publisher, Weinheim

Hoffmans, G.J.C.M., Verheij, H.J., 1997, *Scour Manual*, A.A. Balkema Publisher, Netherland

Kironoto, B.A., 1998, Diktat Kuliah Hidrolika Angkutan Sedimen, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta

Legono, D., 1998, Diktat Kuliah Teknik Sungai, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta

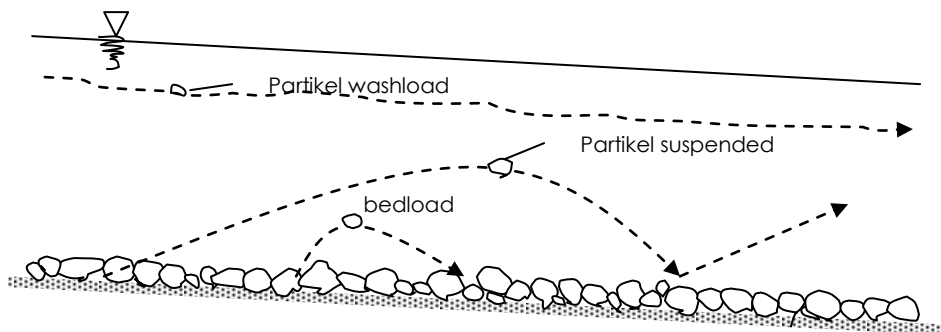
Mardjikoen, P., 1987, Diktat Kuliah Angkutan Sedimen, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta

Raudkivi, A.J., 1976, *Loose Boundary Hydraulics*, University of Auckland, New Zealand

Simons, D.B., Sentürk, F., 1976, *Sediment Transport Technology*, Water Resources Publication, Colorado

Lampiran lampiran:

Lampiran 1. Skema pergerakan partikel sediment



Lampiran 2. Sketsa desain perlindungan abutment

