

Analisis Gerusan Lokal pada Pilar Jembatan Kereta Api BH. 337 akibat Aliran Sungai Cikao

Mirnanda Cambodia

Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai

*email korespondensi: mirnanda.cambodia.mc@email.com

Abstrak.

Pilar merupakan struktur pendukung bangunan jembatan yang biasanya terletak di antara bentang lebar sungai. Aliran sungai yang melewati pilar mengakibatkan terjadinya gerusan yang dapat mengurangi kestabilan pilar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa gerusan lokal pada pilar jembatan Kereta Api menggunakan *Software* HEC-RAS dengan perhitungan debit rencana menggunakan Metode Nakayasu. Penelitian ini menghasilkan besarnya gerusan pada pilar jembatan KA dengan debit rencana untuk kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Data yang digunakan adalah data topografi, data geoteknik dan data curah hujan harian stasiun Cikao-Plered dengan panjang data tahun 2007-2016 yang berada di Kabupaten Purwakarta. Analisis terhadap gerusan maksimum pada pilar jembatan dilakukan menggunakan *software* HEC-RAS pada menu *bridge scour*. Dalam analisis perubahan dasar sungai akibat degradasi dan aggradasi dilakukan dengan melakukan simulasi transpor sedimen pada menu *analysis sediment transport* yang disediakan oleh *software* HEC-RAS. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh kedalaman gerusan pilar pada debit banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun berturut-turut adalah 3,03 m, 3,28 m, 3,37 m, 3,43 m, 3,46 m, 3,52 m, dan 3,57 m, dan kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar menggunakan perhitungan analitik untuk debit banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun berturut-turut adalah 5,01 m, 5,11 m, 5,12 m, 5,20 m, 5,21 m, 5,24 m, dan 5,27 m.

Kata kunci: Gerusan Lokal, Pilar, HEC-RAS

Abstract.

A pillar is a supporting structure for a bridge that is usually located between a wide span of a river. The river flow that passes through the pillar causes scouring which can reduce the stability of the pillar. This study aims to analyze the local scour on the railroad bridge pillars using HEC-RAS software with the calculated discharge plan using the Nakayasu method. This research resulted in the amount of scour on the railway bridge pillars with the planned discharge for the return period of 2 years, 5 years, 25 years, 50 years and 100 years. The data used are topographic data, geotechnical data and daily rainfall data for Cikao-Plered station with data length 2007-2016 in Purwakarta Regency. Analysis of the maximum scour on the bridge pillars was carried out using the HEC-RAS software on the bridge scour menu. In the analysis of changes in river bed due to degradation and aggradation, it is carried out by simulating sediment transport in the sediment transport analysis menu provided by the HEC-RAS software. Based on the results of this study, it is found that the depth of the pillar scour at the return flood discharge for 2 years, 5 years, 10 years, 20 years, 25 years, 50 years, and 100 years respectively is 3.03 m, 3.28 m, 3, 37 m, 3.43 m, 3.46 m, 3.52 m, and 3.57 m, and the depth of the scouring that occurs on the pillars using analytical calculations for flood discharge on the return period of 2 years, 5 years, 10 years, 20 years , 25 years, 50 years, and 100 years are 5.01 m, 5.11 m, 5.12 m, 5.20 m, 5.21 m, 5.24 m, and 5.27 m.

Keywords: Local Scour, Pillars, HEC-RAS.

PENDAHULUAN

Jalur Kereta Api antara Padalarang – Purwakarta merupakan jalur penting dan

jalur utama yang menghubungkan antara Jakarta – Bandung. Kawasan studi masuk ke dalam wilayah pengembangan Purwasuka yang meliputi daerah Kabupaten

Subang, Kabupaten Purwakarta dan Kabupaten Karawang. Wilayah ini memiliki potensi pengembangan pada sektor pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, perikanan, industri pengolahan, pariwisata, dan pertambangan.

Hal ini menjadi perhatian terutama pada kondisi prasarana Kereta Api, yaitu jalan dan jembatan dimana pada lintas ini terdapat sungai dengan pola aliran deras, curam dan dalam. Dengan kondisi topografi pegunungan dan berbukit, aliran air akan sulit dikendalikan dan akan menimbulkan bahaya terhadap konstruksi pilar jembatan yang berada di lokasi yang dilintasi oleh sungai tersebut.

Pilar merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi untuk menopang jembatan. Keberadaan pilar pada aliran sungai dapat menyebabkan perubahan pola aliran sungai. Perubahan pola aliran tersebut menyebabkan dasar sungai di sekitar pilar terangkut aliran air sehingga terjadi gerusan lokal di sekitar pilar.

Gerusan pada pilar jembatan sangat berbahaya karena dampak yang ditimbulkan akan menurunkan stabilitas keamanan struktur jembatan. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk memprediksi kedalaman penggerusan pada pilar jembatan adalah HEC-RAS. HEC-RAS merupakan *software* aplikasi untuk memodelkan aliran satu dimensi pada sungai untuk dianalisis seberapa besar gerusan yang terjadi pada pilar jembatan.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk memprediksi kedalaman penggerusan pada pilar jembatan KA sehingga diharapkan dapat meminimalisir dampak buruk yang mungkin akan terjadi dan sebagai referensi dalam mengatasi permasalahan serupa.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisis kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar jembatan KA menggunakan *software* HEC-RAS. Penelitian ini dibatasi dalam hal panjang sungai yang ditinjau ± 500 m ke arah hulu dan ± 200 m ke arah hilir dengan titik

acuannya pada Jembatan BH. 337 Km 105+392.

Sungai

Sungai atau saluran terbuka merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan debit aliran dan sebagainya (Triatmodjo, 2008).

Sebagian besar air hujan yang turun ke permukaan tanah mengalir ke tempat-tempat yang lebih rendah. Kemudian setelah mengalami bermacam-macam perlawanan akibat adanya gaya berat, akhirnya melimpah ke danau atau ke laut. Suatu alur panjang di atas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan disebut alur sungai. Sedangkan perpaduan antara alur sungai dan aliran air yang ada di dalamnya disebut sungai (Sosrodarsono, 1985).

Mulai dari mata airnya di bagian yang paling hulu di daerah pegunungan dalam perjalanannya ke hilir di daerah dataran, air sungai secara berangsur-angsur berpadu dengan banyak sungai lainnya, sehingga lambat laun tubuh sungai menjadi semakin besar. Terkadang sebelum aliran sungai berakhir di sebuah danau atau di pantai laut, sungai membentuk beberapa cabang yang disebut cabang sungai (*enffluent*).

Kerumitan sistem sungai dapat dilihat dari berbagai komponen penyusun sungai, misalnya bentuk alur dan percabangan sungai, formasi dasar sungai (*river bed form*), morfologi sungai (*river morphology*), dan ekosistem sungai (*river ecosystem*). Percabangan sungai akan menyerupai pohon sungai mulai dari sungai orde pertama sampai orde ke-n. Formasi dasar sungai jika diperiksa sekilas sangat sulit untuk diadakan identifikasi dan karakteristik. Bentuk alur meander dipengaruhi oleh kemiringan memanjang

bentang alam, jenis material dasar sungai, dan vegetasi di daerah bersangkutan (Maryono, 2003).

Analisis Hidrologi

Analisis Hidrologi merupakan kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi yang terjadi. Fenomena hidrologi seperti besarnya curah hujan, temperatur, penguapan, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai dan tinggi muka air akan selalu berubah menurut waktu. Untuk tujuan tertentu data-data hidrologi dapat dikumpulkan, dihitung, disajikan dan ditafsirkan dengan menggunakan prosedur tertentu (Yuliana, 2002).

Tujuan dari analisis hidrologi dimaksudkan untuk memperkirakan debit banjir yang akan terjadi dalam kala ulang

tertentu pada daerah yang diobservasi. Debit semacam ini dikenal dengan sebutan debit rancangan. Debit rancangan biasanya dihitung dengan mengolah data debit harian. Tetapi karena data debit harian suatu sungai sulit didapat maka perhitungan debit rancangan dilakukan dengan mentransfer hujan rancangan menjadi debit rancangan.

Perhitungan Debit Rancangan

Debit merupakan volume aliran yang mengalir melalui sungai per satuan waktu. Besar debit biasanya dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik ($m^3/detik$) (Soewarno 1995). Data debit aliran sungai berfungsi dalam memberikan informasi mengenai jumlah air yang mengalir pada waktu tertentu, sehingga data debit berguna untuk mengetahui cukup tidaknya penyediaan air dalam berbagai keperluan misalnya seperti domestik, irigasi, pelayaran, tenaga listrik, industri, pengelolaan DAS, pengendalian sedimen,

prediksi kekeringan dan penilaian kondisi pencemaran air.

Adapun analisis perhitungan debit rancangan pada Daerah Aliran Sungai Cikao menggunakan 2 metode yaitu

Metode Rasional dan Metode u. Di bawah ini keterangan 46 ii masing-masing metode perhitungan debit rancangan :

a. Metode Rasional

Chow (1964) menyatakan bahwa salah satu metode yang digunakan dalam menentukan nilai debit berdasarkan pada faktor-faktor fisik lahan dikenal dengan metode rasional. Variabel-variabel dalam metode rasional adalah koefisien aliran, intensitas hujan dan luas.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Keterangan :

Q : Debit rancangan ($m^3/detik$)

C : Koefisien aliran

I : Intensitas hujan (mm/jam)

A : Luas DAS (Km^2)

Intensitas hujan dapat dihitung menggunakan rumus Mononobe :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{tc}\right)^{2/3}$$

Keterangan :

R : Hujan maksimum (mm)

Tc : Waktu konsentrasi (jam)

Waktu konsentrasi dihitung menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$t_c = 0.0133L \times i^{-0.6}$$

Keterangan :

t_c : Waktu konsentrasi (jam)

L : Panjang sungai (Km)

i : Kemiringan sungai

b. Metode HSS Nakayasu

Hidrograf satuan sintetis Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai yang terdapat di Jepang (Soemarto, 1987). Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu merupakan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf banjir rancangan dalam suatu DAS. Untuk menghasilkan suatu hidrograf banjir pada sungai, perlu diketahui karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut.

Persamaan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{A \cdot R_0}{3,6 (0,3t_p + T_{0,3})}$$

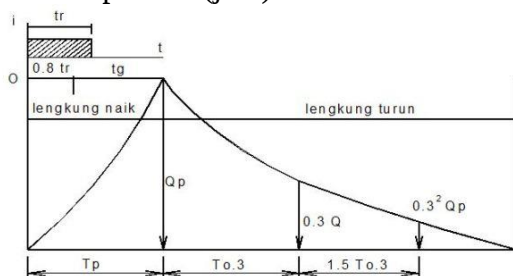
Keterangan :

Q_p : Debit puncak banjir ($M^3/detik$)

R_0 : Hujan satuan (mm)

t_p : Tenggang waktu (*time lag*)

$T_{0,3}$: Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)



Gambar 1. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu
(Sumber : Soemarto, 1987)

Gerusan Lokal

Gerusan merupakan penurunan dasar sungai yang diakibatkan karena terjadinya erosi di bawah permukaan alami atau datum yang diasumsikan. Gerusan adalah proses semakin dalamnya dasar sungai akibat interaksi antara aliran dengan material dasar sungai (Legono, 1990).

Gerusan didefinisikan sebagai proses pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal (*local scouring*)

terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen ditranspor lebih besar daripada sedimen yang disuplai. Transpor sedimen bertambah dengan meningkatnya tegangan geser sedimen, dan gerusan terjadi ketika perubahan kondisi aliran menyebabkan peningkatan tegangan geser dasar (Hanwar, 1999).

Tipe-tipe Gerusan

Tipe gerusan menurut Rudkivi dan Ettema (1983) adalah sebagai berikut :

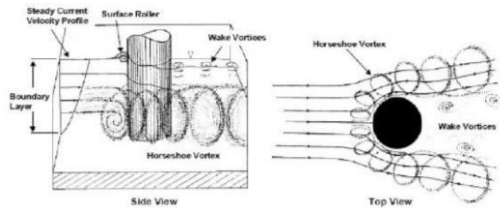
- Gerusan umum di alur sungai, tidak berkaitan sama sekali dengan ada tidaknya bangunan sungai.
- Gerusan di lokalisir di alur sungai, terjadi karena penyempitan aliran sungai menjadi terpusat.
- Gerusan lokal di sekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai.

Gerusan dari jenis (b) dan (c) selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersih (*clear water scour*) maupun gerusan dengan air bersedimen (*live bed scour*). Gerusan dengan air bersih berkaitan dengan suatu keadaan dimana dasar sungai di sebelah hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada material yang terangkut) atau secara teoritik $t_0 < t_c$. Sedangkan gerusan dengan air bersedimen terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak. Peristiwa ini menunjukkan bahwa tegangan geser pada saluran lebih besar dari nilai kritiknya atau secara teoritik $t_0 > t_c$.

Mekanisme Gerusan

Struktur yang diletakkan pada suatu arus sungai mampu merubah aliran air dan gradien kecepatan vertikal (*vertical velocity gradient*) pada permukaan ujung struktur tersebut (Miller, 2003). Aliran bawah yang terjadi pada dasar struktur ini membentuk pusaran yang akhirnya menyapu sekeliling

dan bagian bawah struktur. Kejadian ini dinamakan pusaran tapal kuda (*horseshoe vortex*) dikareakan apabila dilihat dari atas maka bentuk pusaran ini mirip tapal kuda.



Gambar 2. Mekanisme Gerusan Akibat Pola Aliran di sekitar Pilar (Sumber : Miller, 2003)

Proses gerusan dimulai pada saat Bergeraknya partikel yang terbawa mengikuti pola aliran dari hulu ke bagian hilir saluran. Pada saat kecepatan tinggi, partikel yang terbawa akan semakin banyak dan membuat ukuran dan kedalaman lubang gerusan menjadi semakin besar. Apabila kecepatan aliran mencapai kecepatan kritis maka kedalaman gerusan akan menjadi maksimum.

Persamaan Kedalaman Gerusan

Ada beberapa persamaan yang dipakai untuk menghitung besar kedalaman gerusan yang terjadi pada dasar sungai di sekitar pilar yaitu antara lain Laursen dan Toch (1956) mempresentasikan persamaan untuk menghitung kedalaman gerusan berdasarkan pada data hasil studi kasus angkutan sedimen. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan lokal maksimum seperti bentuk pilar, gradasi sedimen dan sudut datang aliran. Persamaannya yaitu sebagai berikut :

$$d_s = 1,35 b^{0,7} y^{0,3}$$

Breuser dan Raudkivi (1991) menyebutkan bahwa kedalaman gerusan merupakan fungsi dari angka Reynolds. Berdasarkan data laboratorium persamaannya adalah sebagai berikut :

$$d_s = 1,05 b^{0,75}$$

Simon dan Senturk (1992) mengembangkan persamaan berikut ini :

$$d_s = K y (b/y)^{0,65} Fr^{0,43}$$

Dengan :

$K = 2,0$ (Pilar berujung kotak)

$K = 1,5$ (Pilar berujung bulat)

$K = 1,2$ (Pilar berujung runcing)

Persamaan yang dikembangkan oleh Dr. David Froehlich (1987) menyatakan bahwa kedalaman gerusan sebagai fungsi dari bilangan Froude, lebar pilar, sudut aliran, jenis pilar dan ukuran butiran. Adapun bentuk persamaannya yaitu seperti di bawah ini :

$$d_s = 0,32 b K (b'/b)^{0,02} (y/b)^{0,46} Fr^{0,2} (b/d_{50})^{0,08} + 1,0$$

$$b' = b \cos \beta + 1 \sin \beta$$

Dengan :

$K = 1,3$ (Pilar persegi)

$K = 1,0$ (Pilar Lingkaran)

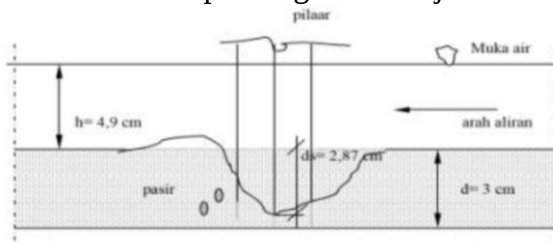
$K = 0,7$ (Pilar Segitiga)

Pola Gerusan Lokal di Sekitar Pilar

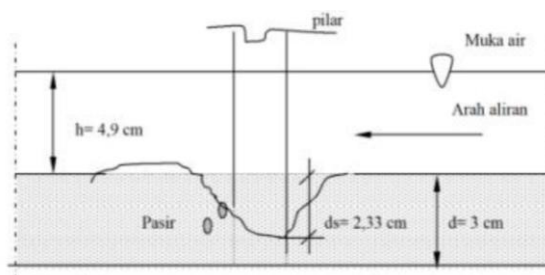
Pilar merupakan suatu bangunan bawah yang letaknya berada di tengah bentang antara dua buah abutment dan memiliki fungsi sebagai pemikul beban-beban bangunan atas dan bangunan lainnya yang selanjutnya diteruskan ke pondasi serta disebarkan ke tanah dasar yang keras (Mukti, 2016).

Rahmadani (2014) menjelaskan penggerusan lokal pada pilar terjadi akibat terganggunya aliran baik besar maupun arahnya yang menimbulkan turbulensi air sehingga menyebabkan hanyutnya material-material dasar atau tebing sungai. Hal ini dapat terjadi secara langsung oleh kecepatan aliran sedemikian rupa sehingga daya tahan material terlampaui.

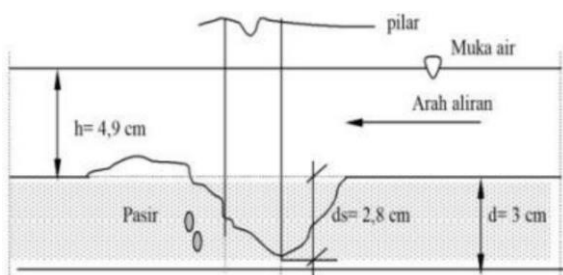
Menurut Ariyanto (2010), gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar akan membentuk suatu pola gerusan yang dapat diamati setelah proses gerusan terjadi.



Gambar 3. Pola Kedalaman Gerusan Lokal pada Pilar Jajar Genjang Debit $848 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ (Sumber : Ariyanto, 2010)



Gambar 4. Pola Kedalaman Gerusan Lokal pada Pilar Bulat Debit $848 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ (Sumber : Ariyanto, 2010)



Gambar 5. Pola Kedalaman Gerusan Lokal pada Pilar Bujur Sangkar Debit $848 \text{ cm}^3/\text{dtk}$ (Sumber : Ariyanto, 2010)

Dilihat dari ketiga gambar di atas bahwa pola kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar adalah sama untuk posisi pilar yang sejajar dengan arah aliran datang yaitu terjadi proses gerusan di depan dan belakang pilar yangmana di bagian depan pilar terjadi gerusan maksimum. Namun pada **Gambar 3** pilar jajar genjang

memiliki karakter yang berbeda dengan bentuk pilar bulat dan bujur sangkar. Hal ini dikarenakan pada pilar jajar genjang membentuk sudut terhadap arah aliran yang datang sehingga proses kedalaman maksimum terjadi pada sisi pilar. Semakin besar bentuk sudut terhadap aliran, maka akan semakin besar pula kedalaman gerusan pada sisi pilar (Ariyanto, 2010).

Software HEC-RAS

Software HEC-RAS merupakan program aplikasi yang dibuat dan dikembangkan oleh *Hydraulic Engineering Center*, salah satu divisi dari the *Institute for Water Resources (IWR)*, *U.S. Army Corps of Engineer*. HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi yaitu : (1) hitungan profil muka air aliran permanen, (2) simulasi aliran tak permanen, (3) hitungan transpor sedimen, dan (4) hitungan kualitas (temperatur) air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *running* hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air dilakukan (Istiarto, 2014).

Selain memiliki empat komponen tersebut, *software* HEC-RAS juga memiliki tools yang dapat digunakan untuk memperkirakan besar kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar jembatan yaitu dengan memilih menu *Hidraulic Design Function* yang terdapat pada tampilan utama. HEC-RAS menyediakan 3 (tiga) pilihan hitungan *scour* yaitu *Contraction*, *Pier* dan *Abutment* (Istiarto, 2014).

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada sungai Cikao yang berada di Desa Sindangkasih,

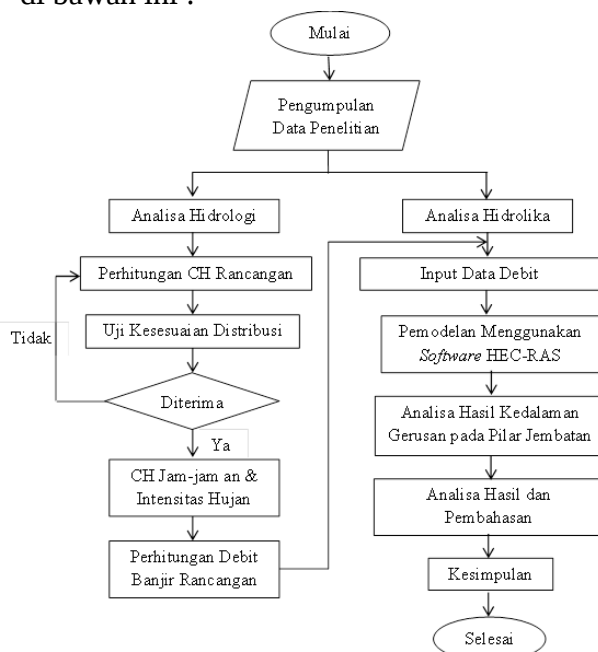
Kabupaten Purwakarta. Panjang sungai yang ditinjau yaitu sejauh $\pm 500 \text{ m}$ ke arah hulu dan $\pm 200 \text{ m}$ ke arah hilir dengan jembatan BH. 337 Km. 105+392 sebagai

titik acuannya. Data yang digunakan adalah data topografi, geoteknik, data sungai dan data curah hujan.



Gambar 6. Foto Udara Lokasi Titik Acuan Jembatan BH. 337 Km. 105+392

Tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah berdasarkan diagram alir di bawah ini :



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

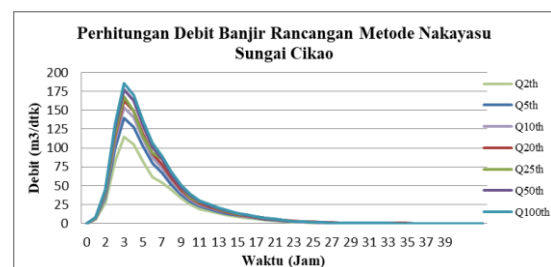
Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan hasil akhir berupa data debit banjir rancangan dengan metode HSS Nakayasu yang merupakan hasil dari olah data curah hujan. Adapun rekap debit banjir rancangan sungai Cikao metode HSS

Nakayasu ditunjukkan pada **Tabel 1** di bawah ini :

Tabel.1. Rekap Debit Banjir Rancangan Sungai Cikao Metode HSS Nakayasu

No.	Kala Ulang (Tahun)	Debit Banjir Rancangan (m^3/dtk)
1	2	114.8111799
2	5	139.6104483
3	10	153.1125308
4	20	162.7133794
5	25	167.7372544
6	50	177.2401375
7	100	185.7622127

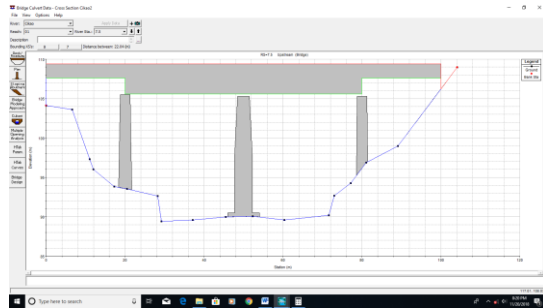
Sumber : Hasil Perhitungan, 2018



Gambar 8. HSS Nakayasu dengan berbagai periode ulang

Analisis Kedalaman Gerusan Pilar

Kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada pilar dapat dianalisis menggunakan *software* HEC-RAS dengan memilih menu *Hydraulic Design Function* yang terdapat pada tampilan utama. HEC-RAS menyediakan 3 (tiga) pilihan hitungan *scour* yaitu *Contraction*, *Pier* dan *Abutment*. Adapun bentuk pilar adalah bentuk tajam (*sharp nose* dengan lebar 8 m). Data yang diisi adalah sudut datang aliran dan ukuran sedimen d_{95} .



Gambar 9. Tampilan Cross Section Jembatan dan Pilar

Hasil analisis kedalaman *total scouring* pada pilar untuk masing-masing kala ulang pada kondisi *groundsill* eksisting dan *groundsill* alternatif dilampirkan dalam **Tabel 2** di bawah ini.

Tabel 2. Kedalaman *Total Scouring* Pilar untuk Masing-masing Debit Kala Ulang

Kala Ulang (Thn)	Debit (m ³ /dtk)	<i>Scouring</i>		
		<i>Contruction</i> (m)	<i>Pier</i> (m)	Total (m)
2	114,8112	0,46	2,64	3,10
5	139,6104	0,52	2,76	3,28
10	153,1125	0,55	2,82	3,37
20	162,7134	0,57	2,87	3,43
25	167,7373	0,57	2,89	3,46
50	177,2401	0,59	2,92	3,52
100	185,7622	0,61	2,96	3,57

Sumber : Software HEC-RAS, 2018

Perhitungan Analitik gerusan

Perhitungan terhadap kedalaman gerusan (*scouring*) pada pilar jembatan secara analitik dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan, yaitu *Laursen* dan *Toch*, *Breuser* dan *Raudkivi*, *Simons* dan *Froehlich*. Berikut adalah salah satu perhitungan gerusan (*scouring*) dengan debit banjir kala ulang 2 tahun untuk masing-masing persamaan.

Diketahui :

b (lebar pilar) : 8 m

y (kedalaman aliran) : 2,4 m

Fr (bilangan *Froude*) : 0,73

d₅₀ : 3,5 mm

a. Persamaan *Laursen* dan *Toch*

$$ds = 1,35 \cdot b^{0,7} \cdot y^{0,3}$$

$$ds = 1,35 \cdot (8)^{0,7} \cdot (2,4)^{0,3} = 7,5259 \text{ m}$$

b. Persamaan *Breuser* dan *Raudkivi*

$$ds = 1,35 \cdot b^{0,75}$$

$$ds = 1,35 \cdot (8)^{0,75} = 4,9947 \text{ m}$$

c. Persamaan *Simons* (1977)

$$ds = K \cdot y \cdot (b/y)^{0,7} \cdot Fr^{0,43}$$

$$ds = 1,2 \cdot 2,4 \cdot (8/2,4)^{0,7} \cdot (0,73)^{0,43} = 5,5016 \text{ m}$$

d. Persamaan *Froehlich* (1987)

$$b' = b \cos \beta + 1 \sin \beta$$

$$= 8 \cos 0 + 1 \sin 0$$

$$= 8$$

$$ds = 0,32 \cdot b \cdot K \cdot (b'/b)^{0,02} \cdot (y/b)^{0,46} \cdot Fr^{0,2} \cdot (b/d_{50})^{0,08} + 1,0$$

$$= 0,32 \cdot (8) \cdot (0,7) \cdot (8/8)^{0,02} \cdot (2,4/8)^{0,46} \cdot (0,73)^{0,2} \cdot (8/3,5)^{0,08} + 1,0 = 2,0332 \text{ m}$$

Hasil perhitungan kedalaman gerusan pilar untuk debit banjir kala ulang lainnya disajikan pada **Tabel 3** Berikut ini.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Gerusan dengan Analitik

Kala Ulang (tahun)	Debit (m ³ /dtk)	y (m)	Kedalaman Gerusan (m)				Kedalaman Rata-rata (m)
			<i>Laursen & Toch</i>	<i>Breuser & Raudkivi</i>	<i>Simons</i>	<i>Froehlich</i>	
2	1,148,112	2.4	7.5259	4.9947	5.5016	2.0332	5.0139
5	1,396,104	2.61	7.7177	4.9947	5.6656	2.0739	5.1130
10	1,531,125	2.62	7.7266	4.9947	5.6731	2.0758	5.1175
20	1,627,134	2.8	7.8821	4.9947	5.8066	2.1092	5.1982
25	1,677,373	2.83	7.9074	4.9947	5.8283	2.1146	5.2112
50	1,772,401	2.9	7.9656	4.9947	5.8784	2.1272	5.2415
100	1,857,622	2.97	8.0228	4.9947	5.9277	2.1396	5.2712

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018

Dari tabel hasil perhitungan analitik menggunakan persamaan *Laursen* dan *Toch*, *Breuser* dan *Raudkivi*, *Simons*, dan *Froehlich* pada masing-masing debit banjir

kala ulang diperoleh nilai kedalaman gerusan berkisar antara $\pm 2 - 8$ m. Sedangkan hasil analisis menggunakan *software* HEC-RAS diperoleh nilai $\pm 3 - 4$ m. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisis menggunakan *software* HEC-RAS berada dalam rentang hasil perhitungan analitik.

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1. Besar debit banjir rancangan di sungai Cikao untuk kala ulang 2 tahun 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun secara berturut-turut adalah 114,8112 m³/dt, 139,6104 m³/dt, 153,1125 m³/dt, 162,7134 m³/dt, 167,7373 m³/dt, 177,2401 m³/dt, 185,7622 m³/dt.
2. Dari hasil analisis dapat diketahui bahwa pilar jembatan menyebabkan terjadinya gerusan. Kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar menggunakan *Software* HEC-RAS untuk debit banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun berturut-turut adalah 3,03 m, 3,28 m, 3,37 m, 3,43 m, 3,46 m, 3,52 m, dan 3,57 m.
3. Kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar menggunakan perhitungan analitik untuk debit banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun berturut-turut adalah 5,01 m, 5,11 m, 5,12 m, 5,20 m, 5,21 m, 5,24 m, dan 5,27 m.
4. Dari tabel hasil perhitungan analitik pada debit banjir kala ulang 100 tahun kedalaman gerusan adalah 5,2712 m. Sedangkan hasil kedalaman maksimum gerusan dari analisis menggunakan *software* HEC-RAS adalah 3,35 m. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan analitis mendekati hasil

analisis menggunakan *software* HEC-RAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto A., 2010, Analisis Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Potensi Gerusan Lokal, Jurnal, Jurusan Teknik Sipil, UPP, Riau.
- Breuser. H.N.C. and Raudkivi. A.J. 1991. *Scouring IAHR Hydraulic Structure Design Manual*. Rotterdam : AA Balkema
- Chow, V.T., Maidment D.R., Mays L.W. 1988. *Applied Hydrology*. Mc. Graw-Hill Book Company. Singapore.
- Froehlich, David C. 1989. *Abutment Scour Prediction. Paper presented at the 68 TRB Annual meeting*. Washington O. C.
- Hanwar, S. 1999. Gerusan Lokal Disekitar Abutmen Jembatan. TESIS. Jogjakarta : PPS UGM.
- Istiarto. 2014. Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS.
- Istiarto. 2014. Modul HEC-RAS Lanjut *Junction and Inline Structures*.
- Laursen, E. M. and Toch, A. *Scour around bridge piers and abutments, Bulletin No.4, Iowa Highways Research Board*, Ames, Iowa, U.S.A, 1956.
- Legono, D. 1990. Gerusan pada Bangunan Sungai. PAU Ilmu-Ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Maryono, Agus. 2003. Pembangunan Sungai Dampak dan Restorasi Sungai. Magister Sistem Teknik Program Pasca Sarjana. Universitas Gajah Mada.

- Miller Jr, W. 2003. *Model For The Time Rate Of Local Sediment Scour At A Cylindrical Structure*. Disertasi. Florida : PPS Universitas Florida.
- Mukti, Adit. 2016. Pengaruh Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Gerusan Lokal Menggunakan Software iRIC: Nays 2DH 1.0 (Model Pilar Penampang Belah Ketupat, Kotak, Lingkaran dan Palung). Skripsi. Yogyakarta: UMY
- Ramadhani, Sarra. 2014. Mekanisme Gerusan Lokal Terhadap Variasi Bentuk Pilar. Tugas Akhir. Medan: USU.
- Raudviki A.J and Ettema R.. 1983. *Clear Water Scour at Cylindrical Piers*. *Journal Hydraulic Engineering* Volume 103.
- Simon, D. dan Senturk F., 1992, *Sediment Transport Technology: Water and Sediment Dynamic*. *Water Resources Pubns.*, New-York.
- Soemarto, C.D. 1987. Hidrologi Teknik. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.
- Sosrodarsono, Suyono. 1993. Bendungan Type Urugan. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. Hidraulika II. Beta Offset: Yogyakarta
- Yuliana, Ade. 2002. Perencanaan Sistem Drainase dengan Sumur Resapan dan Kolam Retensi dalam Rangka Konservasi Air di Perumahan Katumiri Cihanjun. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Bandung.