



Kajian Penggerusan (*Scouring*) Pada Dinding Saluran Air Waringin Jaya Kecamatan Bojonggede Kabupaten Bogor

**¹Chika Restu Maulidina^{1*}, Feril Hariati², Jantiara Eka Nandiasa³,
Fadhila Muhammad Libasut Taqwa⁴**

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun Bogor

**Corresponding author, email address: chikarestum@gmail.com*

ARTICLE INFO

Article History:

Received 26 Juni 2024

Accepted 29 Juni 2024

Online 30 Juni 2024

ABSTRAK

Ruas sungai Waringin Jaya merupakan anak sungai Ciliwung yang melintasi Desa Waringin Jaya. Meskipun tidak tergolong sungai dengan debit yang besar, sungai ini mampu menggerus tebing sungai dan dinding penahan tanahnya, sehingga membahayakan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa besar dan kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada dinding penahan tanah tipe bronjong, berlokasi di sempadan Sungai Waringin Jaya, Kec. Bojonggede, Kab. Bogor dengan menggunakan aplikasi komputer Hec-Ras. Perhitungan debit rencana untuk kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun dengan metode rasional dilakukan berdasarkan data curah hujan harian pada Stasiun Meterologi Citeko dan Stasiun Klimatologi Jawa Barat dengan panjang data tahun 2007 – 2021. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, tinggi muka air pada dinding penahan dengan banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun berturut – turut sebesar 0,92 m; 0,99 m; 1,03 m; 1,04 m; 1,06 m; 1,08 m; dan 1,10 m, sedangkan berdasarkan analisis yang dilakukan dengan Hec-Ras bridge scour, gerusan yang terjadi pada setiap debit banjir kala ulang berturut-turut sebesar 1,24 m; 1,32 m; 1,35 m; 1,39 m; 1,40 m; 1,44 m; dan 1,46 m.

Kata Kunci: Dinding penahan tanah type bronjong, Gerusan, Metode Rasional.

ABSTRACT

The Waringin Jaya river is a tributary of the Ciliwung river that passes through Waringin Jaya village. Although it is not classified as a river with a large discharge, it is capable of eroding riverbanks and retaining walls, endangering the community. This study aims to analyze the magnitude and depth of local scour that occurs on gabion-type retaining walls, located in the Waringin Jaya River basin, Kec. Bojonggede, Kab. Bogor using the Hec-Ras computer application. The calculation of the discharge plan for the return period of 2 years, 5 years, 10 years, 20 years, 25 years, 50 years, and 100 years using the rational method was carried out based on daily rainfall data at the Citeko Meteorological Station and the West Java Climatology Station with a data length of 2007 - 2021. Based on the calculations that have been carried out, the water level on the retaining wall with a flood return period of 2 years, 5 years, 10 years, 20 years, 25 years, 50 years, and 100 years is 0.92 m; 0.99 m; 1.03 m; 1.04 m respectively; 1.06 m; 1.08 m; and 1.10 m, while based on the analysis conducted with Hec-Ras bridge scour, the scour that occurs at each return period flood discharge is 1.24 m; 1.32 m; 1.35 m; 1.39 m; 1.40 m; 1.44 m; and 1.46 m, respectively.

Keywords: Gabion type retaining wall, Scour, Rational Method.

1. PENDAHULUAN

Menurut PP No.37 Tahun 2012, Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Dimana, daerah-daerah tersebut dibatasi oleh punggung-punggung gunung atau pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai pada suatu titik/ stasiun tertentu". Daerah aliran sungai dapat ditentukan dengan menggunakan peta topografi skala 1:50.000 yang dilengkapi dengan garis-garis kontur. Garis-garis kontur tersebut dipelajari untuk menentukan arah dari limpasan permukaan. Limpasan permukaan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah. Luas DAS dapat dihitung dengan metode elips, dimana As yang pendek sekurang-kurangnya $\frac{2}{3}$ dari As panjang. [1] DAS Ciliwung merupakan sungai lintas provinsi yang secara administratif berada dalam wilayah Provinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta sehingga memiliki nilai sangat strategis. [2] Ruas sungai Waringin Jaya merupakan anak sungai Ciliwung yang melintasi Desa Waringin Jaya. Meskipun tidak tergolong sungai besar, sungai ini mampu menggerus tebing sungainya. Akibat gerusan tersebut tebing sungai mengalami kelongsoran yang berbahaya bagi masyarakat. Pengamanan untuk mencegah terjadinya gerusan pada dinding penahan tanah sangat diperlukan untuk menjaga alur sungai agar tetap stabil dan tidak membahayakan daerah sekitar sungai. Maka dari itu dilakukan penelitian ini untuk mengkaji scouring pada dinding penahan tanah saluran air yang terjadi di Sungai Desa Waringin Jaya, Kecamatan Bojong Gede.

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari nilai rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam atau di sekitar kawasan tersebut. Ada 3 macam cara umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan. [3]

1. Cara rata-rata aritmatik

Cara ini digunakan padadaerah yang datar dan memiliki banyak stasiun curah hujan, dengan anggapan bahwa di daerah tersebut sifat curah hujannya adalah *uniform*. Curah hujan dengan perhitungan rata-rata secara aljabar adalah curah hujan di dalam dan di sekitar daerah yang bersangkutan. Perhitungan curah hujan rerata ditunjukkan pada persamaan 1: [4]

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (1)$$

Dengan $\bar{R}$ adalah curah hujan daerah (mm), dan n adalah jumlah titik pengamatan.

2. Cara poligon Thiessen.

Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 – 5000 km², dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya. [5] Thiessen dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

- Menghubungkan masing-masing stasiun hujan dengan garis poligon.
- Membuat garis berat antara 2 stasiun hujan hingga bertemu dengan garis beratlainnya pada suatu titik dalam poligon.
- Luas area yang mewakili masing-masing stasiun hujan dibatasi oleh garisberat pada poligon.
- Luas sub-area masing-masing stasiun hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata-rata.

Polygon Thiessen memberi rumusan sebagai berikut:

$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Dengan P adalah curah hujan daerah rata-rata (mm), $P_1, P_2, \dots, P_n$ adalah curah hujan di tiap titik pos curah hujan, dan $A_1, A_2, \dots, A_n$, sebagai luas daerah thiessen yang mewakili titik pos curah hujan.

3. Cara isohyet

Isohiet adalah garis kontur yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai jumlah hujan yang sama [6]. Perhitungan hujan rata-rata metode isohiet dapat dilakukan dengan berikut.

- Lokasi stasiun hujan dan curah hujan pada peta daerah yang ditinjau.
- Dari nilai curah hujan, stasiun curah hujan yang berdekatan dibuat interpolasi dengan pertambahan nilai yang ditetapkan.
- Dibuat kurva yang menghubungkan titik-titik interpolasi yang mempunyai curah hujan yang sama. Ketelitian tergantung pada pembuatan garis isohiet dan intervalnya.
- Diukur luas daerah antara dua isohiet yang berurutan dan kemudian dikalikan dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet.
- Jumlah dari perhitungan pada butir d untuk seluruh garis isohiet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan curah hujan rerata daerah tersebut.

Isohyet dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut: [7]

$$P = \frac{A_1\left(\frac{R_1+R_2}{2}\right) + A_2\left(\frac{R_2+R_3}{2}\right) + \dots + A_n\left(\frac{R_n+R_{n+1}}{2}\right)}{A_{total}} \quad (3)$$

Dengan P adalah curah hujan daerah rata-rata (mm), $R_1, R_2, \dots, R_n$ adalah curah hujan di tiap titik pos curah hujan, dan $A_1, A_2, \dots, A_n$ adalah luas daerah thiessen yang mewakili titik pos curah hujan.

Cara ini merupakan cara yang paling akurat yang paling teliti, tetapi membutuhkan jaringan penakar hujan yang rapat untuk memungkinkan membuat garis Isohyetnya.

Analisis frekuensi data curah hujan rencana dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa distribusi probabilitas yang banyak digunakan dalam hidrologi, yaitu: Distribusi Normal, Distribusi Log Pearson III, Distribusi Gumbel. [8] Untuk jenis distribusi tersebut sesuai dalam perhitungan curah hujan didasarkan pada nilai-nilai koefisien yang didapat dari parameter statistik, berikut adalah rumus mencari nilai koefisien distribusi.

$$\text{Koefisien variasi (Cv)} = \frac{S_x}{X} \quad (4)$$

$$\text{Koefisien ketajaman (Ck)} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^4}{n \cdot S_x^4} \quad (5)$$

$$\text{Koefisien simetris (Cs)} = \frac{n \cdot \sum(X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2) \cdot S_x^3} \quad (6)$$

Dengan n adalah banyaknya data, X_i adalah data hujan (mm), $\bar{X}$ adalah data hujan rata-rata, dan S_x adalah simpangan baku.

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan/mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Perbedaan maksimum yang ada tidak boleh lebih

besar dari perbedaan kritis yang diijinkan. Uji kecocokan dilakukan dengan Uji Chi-Square dan Uji Smirnov-Kolmogorov.

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu. Analisa intensitas curah hujan dapat diproses dari data curah hujan yang terjadi pada masa lampau. Intensitas curah hujan ini sangat penting untuk perencanaan seperti debit banjir rencana. Dari analisa melalui grafik alat ukur hujan otomatis akan dihasilkan data intensitas hujan. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/ daerah dan dinyatakan dalam mm. Intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus mononobe yang dapat dinyatakan dalam persamaan 7:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (7)$$

Dengan I adalah Intensitas curah hujan (mm/jam), R_{24} adalah curah hujan maksimum harian (mm); dan T adalah lamanya curah hujan (jam).

Persamaan Rasional dikembangkan dengan asumsi bahwa curah hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh daerah pengaliran selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi (t_c). Bentuk umum rumus rasional ditentukan dengan persamaan 8: [9]

$$Q = 0,002778 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (8)$$

Dengan Q sebagai debit banjir maksimum (m^3/dtk); C adalah Koefisien pengaliran; I adalah intensitas curah hujan rata-rata selama waktu konsentrasi (mm/Jam); A adalah luas daerah pengaliran (km^2).

Gerusan merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air yang biasanya terjadi pada dasar sungai yang terdiri dari material alluvial. [10, 11]. Proses gerusan dan endapan umumnya terjadi karena perubahan pola aliran terutama pada sungai aluvial. Perubahan pola aliran terjadi karena adanya halangan pada aliran sungai tersebut, berupa bangunan sungai seperti pilar jembatan dan abutmen. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal disekitar bangunan. Gerusan dapat menyebabkan terkikisnya tanah di sekitar fondasi dari sebuah bangunan yang terletak pada aliran air.

Gerusan bisanya terjadi sebagai bagian dari perubahan morfologi dari sungai dan perubahan akibat bangunan buatan manusia. Jenis gerusan adalah sebagai berikut:

- Gerusan umum (*general scour*) di alur sungai;
- Gerusan terlokalisasi di sepanjang alur sungai;
- Gerusan lokal di sekitar bangunan. Gerusan lokal termasuk tipe gerusan umum dan gerusan yang terjadi akibat penyempitan aliran, seperti pada abutment dan pilar jembatan, serta bangunan air lainnya. [12]

Sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut:

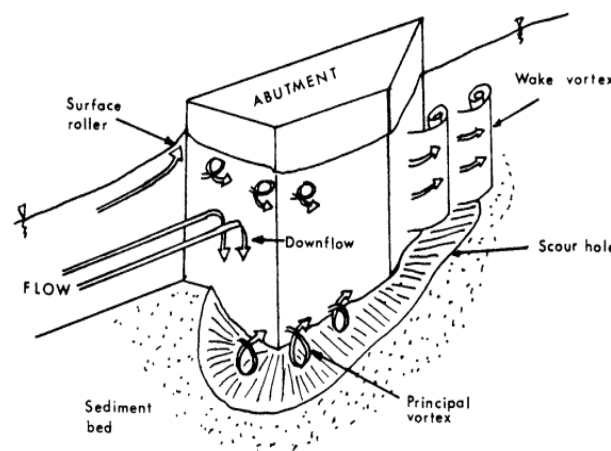
- Besar gerusan akan sama selisihnya antara jumlah material yang di transpor keluar daerah gerusan dengan jumlah material yang di transpor masuk ke dalam daerah gerusan.
- Besar gerusan akan berkurang apabila penampang basah di daerah gerusan bertambah (misal karena erosi)
- Untuk kondisi aliran akan terjadi suatu keadaan gerusan yang disebut gerusan batas.

Gerusan yang terjadi disekitar abutmen jembatan adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh bangunan tersebut. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi vertikal dan menuju dasar saluran dan sebagian

berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan dihilir. Aliran arah vertikal ini akan terus menuju yang selanjutnya akan membentuk pusaran. sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga tercapai keseimbangan. Gerusan lokal diklasifikasikan menjadi *clear water scour* dan *live bed scour*. Bila tidak ada perpindahan sedimen pada bed menjauhi struktur, fenomena ini disebut *clear water scour*. Pada kondisi ini, tegangan geser aliran kurang dari yang dibutuhkan untuk perpindahan sedimen (kurang dari tegangan geser kritis).

Pada struktur, periode inisial dari erosi diikuti oleh equilibrium (keseimbangan, terjadi pada saat perubahan aliran yang disebabkan lubang gerusan mengurangi besarnya tegangan geser yaitu bila sedimen tidak bisa lagi bergerak dan berpindah dari lubang gerusan).

Abutment adalah salah satu bagian konstruksi jembatan yang terletak di pangkal jembatan. Kedalaman gerusan untuk *vertical wall abutment* kurang dua kali dibanding dengan *spill-through abutment*, kedalaman gerusan untuk *wing-wall (WW)*, *spill-through (ST)* dan *vertical wall pointing downstream (TS_i)* adalah sekitar 70% dibanding *semi-circular - end abutment (SCE)* [13, 14]



Gambar 1. Struktur aliran pada abutment dinding [13]

Persamaan Gerusan Lokal Pada Abutment:

1. Persamaan Lacey, dalam analisa kedalaman *scouring* secara umum digunakan rumus Lacey:

$$d = 0,473 \cdot \left(\frac{Q}{f}\right)^{0,33} \quad (9)$$

Dengan d adalah kedalaman normal *scouring* dari tanah dasar sungai (m), Q adalah debit (m^3/dt) dan F faktor lempung Lacey, dimana merupakan fungsi matrix dasar.

$$F = 1,76x \sqrt{\text{ukuran Butiran}} \quad (10)$$

2. Persamaan Froeichlich, dalam analisa kedalaman *scouring* pada Hec-Ras, rumus Froeichlich:

$$y_s = 2,27 K_1 K_2 (L')^{0,43} y_a^{0,57} Fr^{0,61} + y_a \quad (11)$$

Dengan y_s sebagai kedalaman gerusan (m), K_1 sebagai faktor koreksi untuk bentuk hidung K_2 sebagai faktor sudut serang aliran, L' adalah panjang abutmen (embankment) pada proyeksi normal terhadap aliran, ft (m), Fr adalah angka Froude dari aliran di dataran banjir saat mendekati, $Fr = \frac{Ve}{(gya)^2}$, dan y_a adalah rerata kedalaman aliran pada bantaran banjir saat di pendekatan, ft (m).

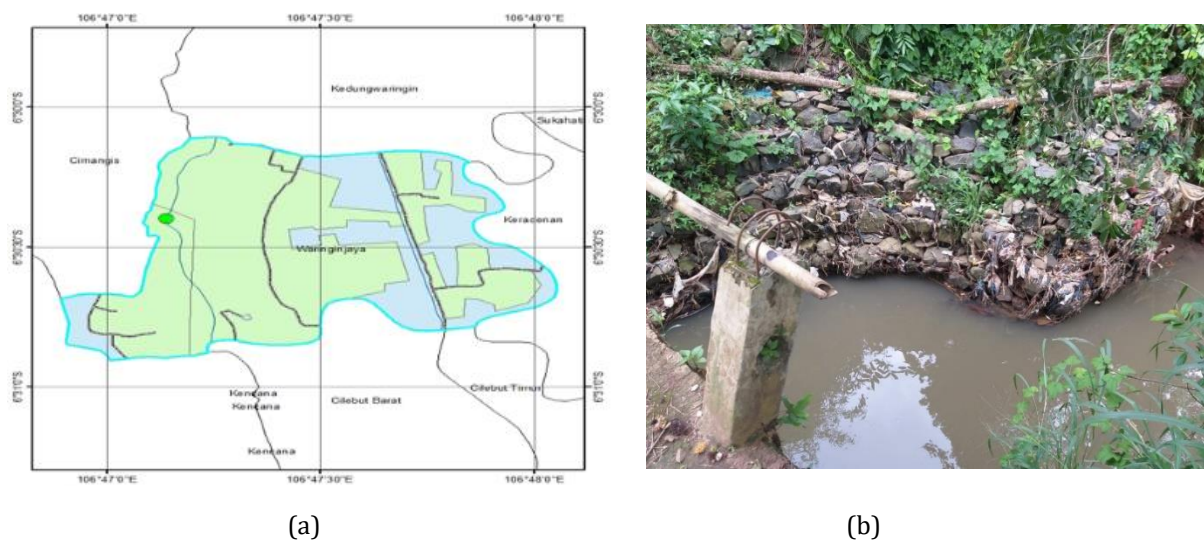
Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) adalah program aplikasi untuk memodelkan aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*) pada saluran terbuka. [15] Hec-Ras memiliki empat komponen model satu dimensi:

- Hitungan profil muka air aliran permanen.
- Simulasi aliran tak permanen.
- Hitungan transport sedimen.
- Hitungan kualitas (temperatur) air.

Satu elemen penting dalam Hec-Ras adalah keempat komponen tersebut memakai data Geometri yang sama, pemrosesan hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air dilakukan. [16]

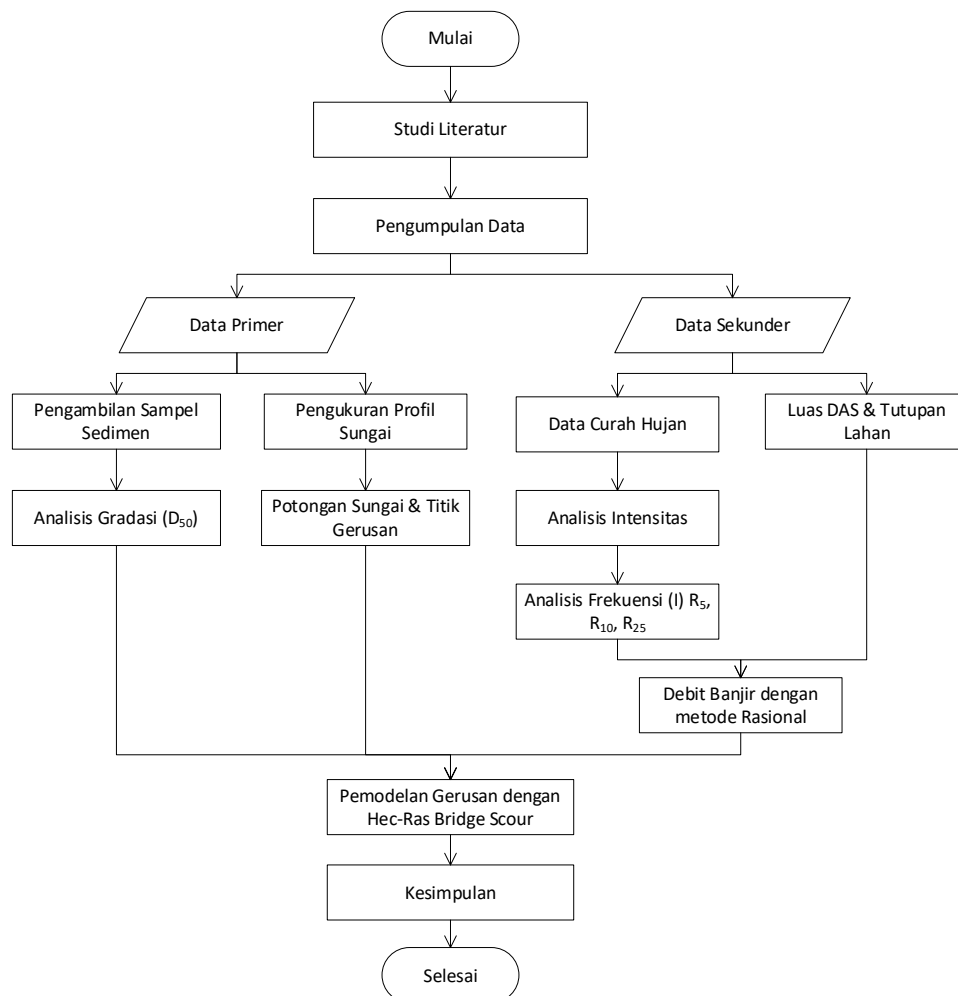
2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian dilaksanakan di Sungai Waringin Jaya dengan koordinat $6^{\circ}30'23.9''$ S dan $106^{\circ}47'08.4''$ E di Kecamatan Bojong Gede, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Waktu penelitian dilaksanakan Pada bulan Maret - Juni 2022. Peta lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2 dan Lokasi penelitian di lapangan ditunjukkan.



Gambar 2. (a) Peta Lokasi Penelitian; (b). Objek Penelitian

Tahapan penelitian terdiri dari pengumpulan data primer yang diperoleh secara langsung di lapangan, berupa hasil pengukuran dimensi *abutment*, dinding bronjong, profil memanjang dan melintang sungai, serta pengambilan sampel sedimen yang berada di dasar sungai. Selanjutnya, dilakukan pengujian parameter fisik tanah terhadap sampel sedimen, berupa uji berat isi tanah, [17] dan analisis gradasi (uji analisis saringan dan uji hidrometer). [18] Sedangkan data sekunder yang terdiri dari data curah hujan tercatat di stasiun hujan berada dalam cakupan area lokasi gerusan tersebut didapat dari BMKG, Peta DAS Waringin Jaya, Data Uji Sedimen, dan data struktur Hidraulik melintang sungai. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis, sehingga diperoleh debit banjir pada setiap kala ulang rencana. Data kecepatan aliran dan debit banjir rencana kemudian diolah dengan bantuan aplikasi Hec-Ras, sehingga diperoleh kedalaman gerusan pada abutment jembatan dan dinding penahan tanah di lokasi yang diteliti. Seluruh tahapan penelitian diperlihatkan pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Debit Rencana

1. Analisis curah hujan

Analisis curah hujan di Sungai Waringin Jaya dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari data online BMKG dengan periode pencatatan tahun 2007 sampai dengan 2021. Stasiun hujan digunakan sebanyak 2, yaitu Stasiun Meterologi Citeko dan Stasiun Klimatologi Jawa Barat. Curah hujan harian maksimum tahunan perstasiun pada tabel 1.

Tabel 1. Data Curah Hujan Maksimum Tahunan

No.	Tahun	Stasiun Citeko	Stasiun Jawa Barat	Curah Hujan Harian Tahunan Maks.
1	2007	33,21	15,58	24,49
2	2008	17,76	21,66	19,71
3	2009	19,52	18,41	18,97
4	2010	18,68	20,03	19,36
5	2011	13,13	15,26	14,20
6	2012	13,65	20,92	17,29
7	2013	27,45	16,45	21,95
8	2014	36,58	22,65	26,78
9	2015	15,26	27,96	21,61
10	2016	20,06	18,61	19,34

No.	Tahun	Stasiun Citeko	Stasiun Jawa Barat	Curah Hujan Harian Tahunan Maks.
11	2017	24,59	18,80	21,70
12	2018	23,98	13,27	18,63
13	2019	15,43	22,36	18,90
14	2020	18,90	29,51	24,21
15	2021	24,54	18,27	21,41

(Sumber: Data Online BMKG)

2. Analisis frekuensi

Analisis parameter statistic, Hitung rata-rata $(\bar{X}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{15} \times 308,55 = 20,57$

$$\text{Standar deviasi (S)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{n-1} \right)^2} = \sqrt{\frac{136,31}{14}} = 3,12$$

$$\text{Koefisien Variasi (Cv)} = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{3,12}{20,57} = 0,15$$

$$\text{Koefisien Skewnes: (Cs)} = \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 = \frac{15}{(15-1)(15-2) \cdot (3,12)^3} \times 39,65 = 0,11$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Kurtosis: (Ck)} &= \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3) \cdot S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \\ &= \frac{15^2}{(15-1)(15-2)(15-3) \cdot (3,12)^4} \times 3701,50 \\ &= 4,02 \end{aligned}$$

Untuk menentukan jenis metode yang digunakan dapat ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Penentuan tipe distribusi.

Distribusi	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik	Ket.
Normal	Cs $\approx$ 0	Cs = 0,11	Tidak
	Ck $\approx$ 3	Ck = 4,02	Memenuhi
Log Normal	Cs = Cv ³ + 3Cv = 0,4	Cs = 0,11	Tidak
	Ck = Cv ⁸ + 6Cv ⁶ + 15Cv ⁴ + 16Cv ² + 3 = 3,3	Ck = 4,02	Memenuhi
Gumbel	Cs $\approx$ 1,14	Cs = 0,11	Memenuhi
	Ck $\approx$ 5,4	Ck = 4,02	Memenuhi
Log Pearson Type III	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya		Memenuhi

3. Analisis curah hujan rencana Metode Log Pearson type III.

$$\text{Nilai Rata-Rata: } \log \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i = \frac{1}{15} \times 19,6268 = 1,3085$$

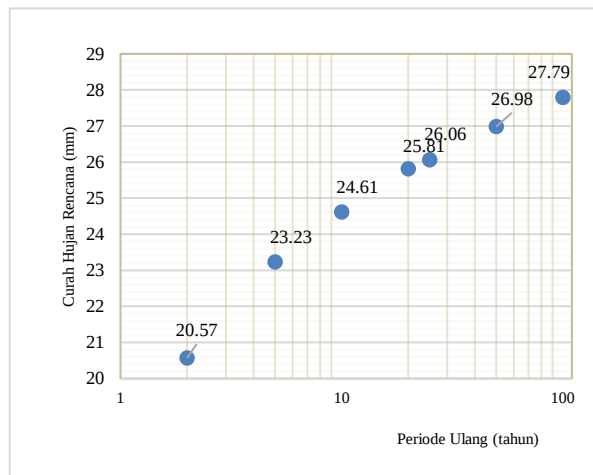
$$\text{Standar deviasi (S}_{\log X}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0634}{15-1}} = 0,0673$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Skewnes } C_{S_{\log X}} &= \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot (S_{\log X})^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3 \\ &= \frac{15}{(15-1)(15-2) \cdot (0,0673)^3} \times (-0,0016) = -0,42 \end{aligned}$$

Tabel 3. Curah hujan rencana untuk periode ulang (tahun).

Kala ulang (tahun)	P (%)	Cs	1,23G	Log Xt	X (mm)
2	50	-0,42	0,07	1,31	20,57

5	20	-0,42	0,85	1,37	23,23
10	10	-0,42	1,23	1,39	24,61
20	5	-0,42	1,54	1,41	25,81
25	4	-0,42	1,60	1,42	26,06
50	2	-0,42	1,82	1,43	26,98
100	1	-0,42	2,01	1,44	27,79

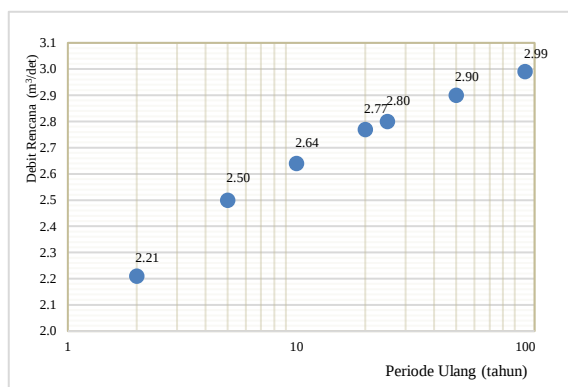


Gambar 4. Grafik curah hujan rencana

Analisis debit rencana ini menggunakan metode rasional Mononobe. Untuk menganalisis debit rancangan, terlebih dahulu harus dibuat hidrograf banjir pada sungai yang bersangkutan. Adapun data data diketahui sebagai berikut: Luas DAS (A) = 1,56 km²; Panjang sungai utama (L) = 1,33 km; Koefisien Pengaliran (C) = 0,50

Tabel 4. Perhitungan debit metode rasional Mononobe.

n (tahun)	X (mm)	t (jam)	I (mm/jam)	C	A (km ²)	Q (m ³ /dtk)
2	20,57	0,58	10,21	0,50	1,56	2,21
5	23,23	0,58	11,53	0,50	1,56	2,50
10	24,61	0,58	12,22	0,50	1,56	2,64
20	25,81	0,58	12,82	0,50	1,56	2,77
25	26,06	0,58	12,94	0,50	1,56	2,80
50	26,98	0,58	13,40	0,50	1,56	2,90
100	27,79	0,58	13,80	0,50	1,56	2,99



Gambar 5. Grafik debit rencana Sungai Waringin Jaya

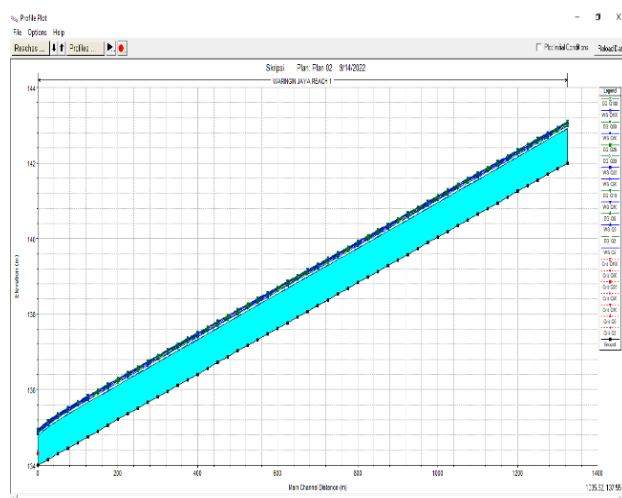
3.2. Analisis Elevasi Muka Air

1. Potongan memanjang Sungai

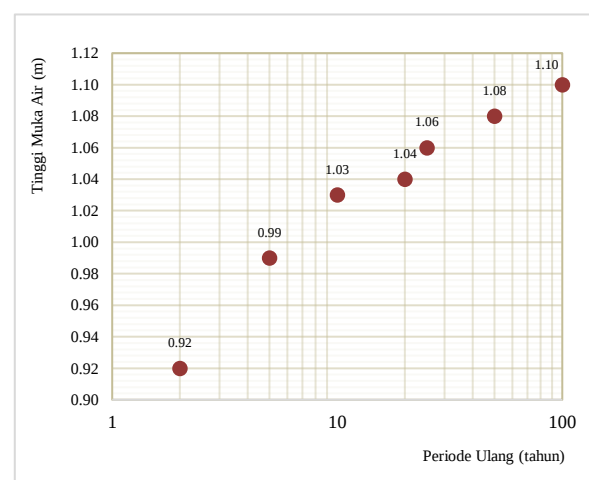
Dari hasil pemodelan, dapat diperlihatkan bahwa elevasi muka air, semua stasiun di Sungai Waringin Jaya tidak melebihi batas tanggul yang ada, sehingga tidak terjadi banjir. Profil memanjang Sungai Waringin jaya untuk Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{25} , Q_{50} dan Q_{100} tahunan ditunjukkan pada Gambar 6. (a)

2. Potongan melintang sungai

Terlihat pada hasil *running* tinggi muka air tidak sampai melewati batas tanggul, dan artinya tidak berpotensi banjir. Tinggi muka air pada Sta 1325 pada saat $Q_2 = 0,92$ m, $Q_5 = 0,99$ m, $Q_{10} = 1,03$ m, $Q_{20} = 1,04$ m, $Q_{25} = 1,06$ m, $Q_{50} = 1,08$ m, dan $Q_{100} = 1,10$ m, dengan elevasi tanah tertinggi adalah 145 m. Hasil *running* tinggi muka air potongan melintang Sungai Waringin Jaya untuk Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{20} , Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} tahun ditunjukkan pada Gambar 6 (b).



(a)

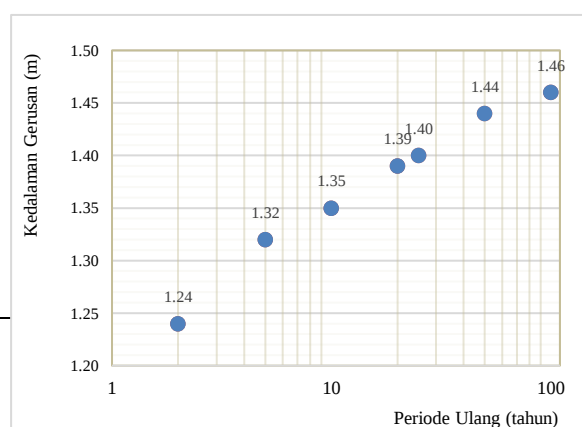
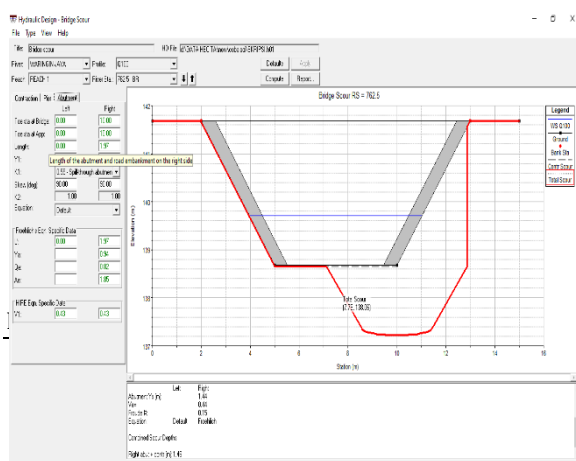


(b)

Gambar 6. (a). Profil memanjang Sungai Waringin Jaya; (b). Grafik tinggi muka air pada potongan melintang sungai

3.3. Analisis Scouring

Proses *scouring* pada *abutment* merupakan gabungan dari *scouring* karena *contraction scour* yaitu adanya kontraksi aliran dan adanya rumah yang berjarak hanya 50 cm dari tebing sungai. Pada abutmen di Sungai Waringin Jaya ini dilakukan analisis terhadap gerusan pada pilar dan abutmen dengan menggunakan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Analisis gerusan dilakukan dengan meng-input data kecepatan dan elevasi banjir pada program Hec-Ras. Hasil analisis kedalaman gerusan dengan menggunakan aliran *steady flow* diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



(a) (b)
Gambar 7. (a). Hasil gerusan setelah di-*compute*; (b). Grafik hasil gerusan menggunakan aliran *steady flow*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Elevasi muka air semua stasiun di Sungai Waringin Jaya tidak melebihi batas tanggul yang ada, sehingga tidak terjadi banjir. Tinggi muka air pada Sta 1325 pada saat $Q_2 = 0,92$ m, $Q_5 = 0,99$ m, $Q_{10} = 1,03$ m, $Q_{20} = 1,04$ m, $Q_{25} = 1,06$ m, $Q_{50} = 1,08$ m, dan $Q_{100} = 1,10$ m, dengan elevasi tanah tertinggi adalah 145 m.
2. Berdasarkan perhitungan dengan metode rasional, debit banjir rencana dengan skala ulang 2, 5, 10, 20, 25, 50, dan 100 tahun diperoleh berturut-turut sebesar 2,21; 2,50; 2,64; 2,77; 2,80; 2,90; dan 2,99 m³/det.
3. Berdasarkan persamaan Froehlich pada debit banjir rencana dengan kala ulang 100 tahun, gerusan yang terjadi pada abutmen sebelah kanan mencapai 1,5 m. Gerusan yang terjadi cukup besar sehingga dapat disimpulkan abutment di Sungai Waringin Jaya tidak aman terhadap bahaya gerusan.
4. Pada abutmen di Sungai Waringin Jaya ini dilakukan analisis terhadap gerusan pada pilar dan abutmen dengan menggunakan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah RI No. 37 tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, , Lembaran Negara RI (2012), Republik Indonesia
- [2] Yusuf, I. A. (2009). Pemulihan Kualitas Air Sungai Ciliwung Menggunakan Model Kualitas Air, *Jurnal Sumber Daya Air*, Vol. 5, No. 2, 115–126
- [3] Suripin, S. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*, Andi, Yogyakarta
- [4] Sosrodarsono, S. (2006). *Hidrologi Untuk Pengairan*, Pradnya Paramita, Jakarta
- [5] Taqwa, F. M. L. (2017). Perencanaan Normalisasi Arus Sungai Cijere di Desa Pasirmukti Kec. Citeureup Kab. Bogor, *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, Vol. 1, No. 2, 31–43. doi:http://doi.org/10.32832/komposit.v1i2.1544
- [6] Lengkey, A. P.; Mananoma, T.; Sumarauw, J. S. F. (2019). Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Molinow di Desa Radey Kabupaten Minahasa Selatan, *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 7, No. 8, 965–974
- [7] Wahyudi, S. I.; Adi, H. P. (2016). *Drainase Sistem Polder* (1st ed.), EF Press Digimedia, Semarang
- [8] Basuki, B.; Winarsih, I.; Adhyani, N. L. (2009). Analisis Periode Ulang Hujan Maksimum dengan Berbagai Metode (Return Periode Analyze maximum Rainfall with Three Method), *Agromet*, Vol. 23, No. 2, 76. doi:10.29244/j.agromet.23.2.76-92

- [9] Adaptian, O.; Warsito, W.; Suprpto, B. (2017). Studi Perencanaan Stabilitas Dinding Penahan Tanah pada Tebing Sungai Butong, Kelurahan Melayu Kabupaten Barito Utara Provinsi Kalimantan Tengah, *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol. 5, No. 1, 22–32
- [10] Cambodia, M. (2020). Analisis Gerusan Lokal pada Pilar Jembatan Kereta Api BH. 337 akibat Aliran Sungai Cikao, *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, Vol. 5, No. 2, 44–53.
doi:10.2s4967/TEKSIS.V5I2.1085
- [11] Rustiati, N. B. (2012). Gerusan Lokal di Sekitar Abutment Jembatan Labuan, *SMARTek*, Vol. 5, No. 3
- [12] Warliawati, S.; Rusdin, A.; Saparudin, S. (2018). Gerusan di Sekitar Pilar Jembatan Palu I Sungai Palu, *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, Vol. 2, No. 1, 978–602
- [13] Breusers, H. N. C.; Raudkivi, A. J. (1991). *Scouring* (1st ed., Vol. 2), CRC Press.
doi:10.1201/9781003079477
- [14] Nur, R. A.; Susilo, G. E.; Sumiharni, S. (2017). Perencanaan Dinding Penahan Tanah pada Sungai Way Hui Kabupaten Lampung Selatan, *JSRDD: Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, Vol. 5, No. 2, 1–12
- [15] US Army Corps of Engineers. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, , Hydrologic Engineering Center 547 (2016), 547
- [16] Istiarto, I. (2014). Simulasi Aliran 1-Dimensi Dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS Jenjang Dasar: Simple Geometry, *Universitas Gadjah Mada*
- [17] Badan Standardisasi Nasional. (1994). SNI 03-3637-1994 Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus Dengan Cetakan Benda Uji, 2–5
- [18] Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 3423:2008 Cara uji analisis ukuran butir tanah, 1–27