



Mitigasi banjir dan alternatif pemeliharaan infrastruktur keairan pada sub-DAS Code, DAS Opak, Yogyakarta, Indonesia

Rian Mantasa Salve Prastica ^{a,1}, Dwi Angga Rizki Adi ^{a,b}, Niken Famila ^{a,b}

^aDepartemen Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Jl. Yacarana, Yogyakarta, 55281, Indonesia

¹E-mail: rian.mantasa.s.p@ugm.ac.id

^bProgram Studi Teknik Pengelolaan dan Pemeliharaan Infrastruktur Sipil, Departemen Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Jl. Yacarana, Yogyakarta, 55281, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 04 Februari 2020

Direview pada 16 Maret 2020

Direvisi pada 18 Maret 2020

Disetujui pada 25 Maret 2020

Tersedia daring pada 30 Juni 2020

Kata kunci:

Bendung urugan, mitigasi banjir urban, metode Nakayasu, analisis Thiessen, pemeliharaan infrastruktur keairan.

Keywords:

Earth-embankment dam, urban flood mitigation, Nakayasu method, Thiessen analysis, water infrastructure maintenance.

ABSTRAK

Pemeliharaan infrastruktur keairan merupakan hal vital yang perlu menjadi prioritas sebagai tindakan mitigasi bencana banjir. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara penilaian kondisi saluran sungai di suatu DAS yang perlu dimodelkan dan upaya struktural yang dapat dilakukan dalam mereduksi banjir. Sebagai wilayah perkotaan, Yogyakarta menjadi DAS yang dapat dijadikan studi kasus pemodelan banjir. Dalam pemodelan banjir, penelitian ini menggunakan metode analisis banjir dan pemodelan 2-D HEC-RAS untuk membuat visualisasi profil aliran sungai. Analisis banjir dilakukan menggunakan metode Thiessen dan Nakayasu, sedangkan visualisasi profil aliran sungai dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Upaya struktural dalam pengendalian banjir adalah pembuatan *grey infrastructure* yaitu berupa bendungan dimodelkan sebagai upaya mitigasi bencana dan pemeliharaan infrastruktur keairan di daerah tinjauan. Kesimpulan penelitian ini adalah Sungai Code sangat rentan terhadap banjir yang terjadi. Banjir meluap di titik-titik tinjauan pemodelan dan pemeliharaan perlu dilakukan untuk mitigasi bencana banjir. Rencana desain bendungan diusulkan menggunakan *grey infrastructure* dengan pemodelan Geo-Studio dalam analisis *seepage* dan faktor keamanan. Rancangan bendungan memiliki faktor keamanan yang mendukung sebesar 2,267. Dengan metode *flood routing*, kalkulasi persentase reduksi banjir yang terjadi dengan bendungan dapat mencapai 10%.

ABSTRACT

Maintenance of water infrastructure is a vital thing that needs to be a priority as a flood disaster mitigation measure. This condition could be conducted by doing river capacity assessment in a watershed with modeling approach and structural mitigation to reduce flood volume. As an urban area, Yogyakarta is a watershed that can be used as a case study of flood modeling. To conduct flood modeling, this study uses the flood analysis method and the 2-D HEC-RAS modeling to create a visualization of river flow profiles. Flood analysis is carried out using Thiessen and Nakayasu methods, whereas river flow profiles are figured out by HEC-RAS software. Structural effort to control flooding is the construction of grey infrastructure like dam or other civil infrastructures which are not categorized as green infrastructure. Grey infrastructure in the form of dam is modeled as an effort to mitigate disasters and maintain water infrastructure in the review area. The conclusion of this research is that Code River is very vulnerable to flooding that occurs. Floods overflowed at the point of review modeling, so the maintenance needs to be done. Dam designs are proposed using grey infrastructure with Geo-Studio modelling to analyze seepage and safety factor. The dam design alternative has supporting safety factor of 2.267. Flood routing analysis is then conducted to predict the percentage of flood reduction, which is known to reach 10%.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i1.7316>.

1. Pendahuluan

Dalam sejarah yang terjadi di Indonesia berdasarkan kejadian dan bukti terdahulu, Indonesia mengalami kejadian bencana banjir dengan kuantitas yang banyak [1-6]. Bencana lain yang terjadi di Indonesia adalah tanah longsor yang biasanya diakibatkan oleh gempa dan hujan, meletusnya gunung berapi,

permasalahan sampah yang akhirnya mengakibatkan longsor, dan terbakarnya hutan-hutan yang berdampak pada polusi lingkungan. Kondisi bencana letusan gunung berapi dan gempa bumi itu sendiri dipengaruhi akibat letak geografis Indonesia yang berada dalam wilayah cincin api pasifik, sedangkan bencana banjir diakibatkan oleh iklim yang tidak menentu dengan produksi curah hujan yang tinggi dan turun ke bumi. Di Indonesia sendiri telah ada rata-rata sekitar 464 kejadian banjir setiap tahunnya di seluruh wilayah di Indonesia. Tidak hanya di Indonesia, banjir juga terjadi di daerah yang memiliki karakteristik jumlah penduduk tinggi seperti China [7]. Terdapat beberapa faktor yang memungkinkan terjadinya banjir yaitu cuaca ekstrem, berkurangnya lahan resapan atau daerah hijau, terjadinya luapan sungai, kondisi sistem drainase yang kurang baik, dan kondisi spasial daerah [8]. Sehingga berdasarkan faktor tersebut diperlukan tindakan untuk menanggulangi banjir dengan tindakan yang maksimum dan sesuai dengan pedoman.

Penelitian ini menganalisis kejadian banjir di Yogyakarta dengan salah satu daerah aliran sungai (DAS) Opak pada Sub-DAS Kali Code yang merupakan daerah aliran sungai yang memiliki peluang statistik tinggi terjadinya banjir. Sebelumnya, mikro-zonasi dan penilaian risiko daerah Yogyakarta sudah dilakukan [9] dan belum ada analisis lebih lanjut sampai dengan akhir 2018 terkait pemeliharaan infrastruktur keairan di DAS tersebut. Sehingga, penelitian ini menjawab *gap* penelitian pada bagian analisis pemeliharannya.

Analisis banjir dilakukan menggunakan banjir rancangan metode Nakayasu. Sebelum sampai metode tersebut, dilakukan analisis curah hujan dan analisis parameter statistik banjir berupa uji distribusi frekuensi dan uji validitas curah hujan [5, 10]. Analisis pemeliharaan infrastruktur keairan bisa berupa beberapa bentuk mitigasi. Pada penelitian ini, yang dimaksud pemeliharaan infrastruktur keairan adalah upaya menghindari dampak bencana yang dapat mengurangi umur guna bangunan air di suatu DAS. Salah satu caranya adalah melakukan mitigasi bencana yang sering terjadi yaitu banjir. Mitigasi yang diusulkan bisa berupa *green infrastructure* maupun *grey infrastructure* [11-14]. Berdasarkan alternatif pemeliharaan serta mitigasi pada penelitian sebelumnya, penelitian ini hanya menganalisis profil banjir pada DAS yang ditinjau dan desain pemeliharaan menggunakan *grey infrastructure* berupa bendungan.

Analisis profil muka banjir dimodelkan menggunakan pemodelan 2-D HEC-RAS yang telah digunakan secara luas [5, 15-17]. Hasil dari pemodelan ini dapat menggambarkan seberapa parah prediksi genangan yang terjadi pada DAS dan berdampak pada infrastruktur keairan di tinjauan sungai. Selanjutnya, dilakukan analisis rencana desain bendungan yang efektif digunakan pada DAS terkait. Analisis dilakukan menggunakan Geo-Studio dalam memodelkan angka keamanan dan *seepage* bendungan [14]. Hasil analisis selanjutnya adalah berupa reduksi banjir yang bisa dilakukan oleh bendungan terhadap DAS tinjauan.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Banjir Rancangan

Dalam melakukan kuantifikasi atau prediksi debit banjir tahunan yang terjadi di suatu daerah, analisis hujan pada DAS biasanya dapat menggunakan metode Nakayasu [5, 18, 19]. Analisis ini didahului dengan pengumpulan data curah hujan di sub-DAS Code, Yogyakarta. Curah hujan pada penelitian ini didapatkan dari stasiun hujan yang berada di DAS tinjauan. Analisis curah hujan kemudian dilakukan dengan metode Thiessen. Sistem hidrologi biasanya terjadi akibat hujan lebat, banjir dan kekeringan. Saat proses menganalisis curah hujan, dalam menentukan banjir rancangan terdapat metode perhitungan yaitu dengan uji distribusi frekuensi dan uji validitas. Setelah itu, baru bisa dilanjutkan ke tahap penggambaran hidrograf satuan sintesis (HSS) menggunakan metode Nakayasu. Dalam mencari hasil akhir berupa debit banjir, metode Nakayasu memiliki persamaan umum yang dapat ditulis seperti Persamaan (1).

$$Q_p = \frac{c.A.R_0}{3,6.(0,3.T_p + T_0,3)}, \quad (1)$$

dengan:

Q_p = Q maksimum atau debit puncak banjir tahunan (m^3/det)

C = Koefisien limpasan aliran permukaan

A = Luas daerah aliran sungai (DAS) yang ditinjau sampai ke hilir *outlet* (Km^2)

R_0 = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak (jam) banjir

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

2.2. Analisis penilaian kondisi hidrolika saluran menggunakan HEC-RAS

Analisis Hidrolika yang dilakukan pada perencanaan saluran ini dapat menggunakan bantuan program HEC-RAS. Program tersebut dapat memberikan visualisasi profil muka aliran saluran atau karakteristik hidrolika saluran dalam bentuk dua dimensi untuk aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*). Dalam penelitian ini, analisis hidrolika hanya digunakan untuk menentukan kondisi banjir, sedangkan dimensinya tidak direncanakan, sehingga menggunakan dimensi eksisting saluran. Bila dalam hasil simulasi HEC-RAS air meluap, baru dilakukan perencanaan ulang dimensi dari dimensi eksisting pada perencanaan hidrolika.

HEC-RAS merupakan aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan debit banjir ke saluran yang ada. Aplikasi ini dapat melakukan simulasi apakah saluran eksisting/*design* mampu menahan debit atau tidak. Jika tidak, maka diperlukan pembesaran saluran. Analisis perencanaan ulang saluran hidrolika nantinya bisa dilakukan asumsi pelebaran dimensi dengan tetap memperhatikan dimensi minimum yang dapat menampung debit banjir maksimum menggunakan rumus pada Persamaan (2).

$$Q = \frac{1}{n} . R^{\frac{2}{3}} . I^{\frac{1}{2}} . A, \quad (2)$$

dengan:

Q = Debit banjir maksimum yang terjadi pada DAS (m^3/det)

n = Koefisien *mannig* untuk saluran

- R = Curah hujan (mm)
 I = Intensitas hujan (mm/jam)
 A = Luas daerah aliran sungai (DAS) yang ditinjau sampai ke hilir *outlet* (Km²).

Dalam analisis redesain penampang pada saluran yang ditinjau, dapat dilakukan analisis *trial and error* sampai didapatkan kapasitas hidrolika saluran lebih besar untuk menampung debit banjir tahunan yang terjadi, atau Q hidrolika $\geq Q$ hidrologi. Pemodelan simulasi profil aliran saluran dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak HEC-RAS. HEC-RAS merupakan program yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) dalam melakukan analisis saluran terbuka pada sistem *river analysis system* (RAS). Saluran terbuka yang dapat dimodelkan bisa berupa sungai, drainase, dan penampang lain dalam sistem saluran terbuka. Program HEC-RAS memiliki *output* penyajian berupa visualisasi pemodelan aliran satu atau dua dimensi untuk aliran tetap dan aliran tidak tetap pada saluran terbuka. Dalam memodelkan komponen satu dimensi, beberapa komponen dalam HEC-RAS dapat memodelkan: (a) analisis profil muka aliran yang ditinjau, (b) simulasi aliran tunak dan tidak tunak, (c) analisis angkutan sedimen pada saluran, dan (d) analisis kualitas air yang terjadi.

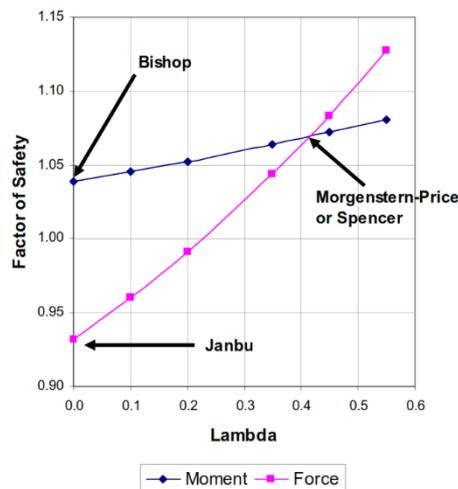
Dalam melakukan analisis banjir yang terjadi pada DAS tinjauan, HEC-RAS akan menunjukkan visualisasi seberapa besar atau tinggi genangan yang terjadi berdasarkan data analisis debit banjir dari metode Nakayasu. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat diketahui seberapa parah genangan yang terjadi di ruas saluran. Prediksi genangan banjir tersebut dapat disimulasikan berdasarkan banjir kala ulang 25 tahunan, 50 tahunan, atau 100 tahunan, sesuai dengan kebutuhan analisis, yang terjadi di saluran pada DAS tinjauan, di sempadan kiri dan kanan saluran, dan daerah yang berlokasi di dataran lebih tinggi yaitu rumah-rumah penduduk dan fasilitas infrastruktur di sekitar sungai tinjauan.

2.3. Analisis desain pemeliharaan infrastruktur keairan dan mitigasi banjir menggunakan bendungan

Dalam melakukan mitigasi banjir, bendungan urugan tanah diusulkan melalui desain perencanaan. Dalam kasus di DAS tinjauan, bendungan urugan dinilai cocok dikarenakan ketersediaan material timbunan dalam pembuatan bendungan. Dalam desain bendungan yang diusulkan pada DAS ini, dapat didesain berdasarkan tipe bendungan yang *homogeny* atau berzona. Bendungan *homogeny* berarti keseluruhan material berasal dari material tanah urugan, sedangkan bendungan berzona akan ada perbedaan material di dalam bendungan, bisa berupa zona tegak atau zona inti miring. Diberikannya zonasi bendungan adalah untuk meningkatkan *safety factor* bendungan tersebut, disamping mengendalikan rembesan atau *seepage* dan kemungkinan retakan yang terjadi. Dalam pembuatan bendungan urugan, diperlukan jenis material yang memadai dan memiliki sistem drainase yang baik dengan kapasitas optimum, karena kelemahan bendungan urugan ini adalah erosi yang dapat merusak tubuh bendungan dikarenakan rembesan yang terjadi.

Analisis bendungan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Geo-Studio. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh *Geo-Slope International Ltd.* dengan fasilitas yang mendukung analisis kinerja suatu bendungan atau tanggul dengan variasi kompleksitas permasalahan yang ada di lapangan. Perangkat lunak ini memiliki banyak fitur yang dapat menganalisis secara numerik komponen *seepage*, faktor keamanan, dan keempaan. Pada penelitian ini, SLOPE/W digunakan untuk melakukan analisis faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan bendungan urugan yang didesain. Perangkat lunak SLOPE/W dapat melakukan analisis dalam tingkat kesulitan sederhana sampai kompleksitas tinggi dengan menerapkan satu metode dari delapan metode tersedia dalam analisis kesetimbangan batas pada permukaan miring, kondisi tekan pori air, beban terkonsentrasi, dan sifat karakteristik tanah.

Penerapan perangkat lunak Geo-Studio dalam melakukan analisis stabilitas lereng telah banyak dilakukan, terutama bila menggunakan fitur SLOPE/W dan SEEP/W yang digunakan pada penelitian ini. Dalam menganalisis faktor keamanan, komputasi yang dilakukan oleh program secara numerik dapat menggunakan algoritma pada program Geoslope. Dalam perhitungan faktor keamanan, beberapa metode dapat digunakan seperti metode Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, atau Fellenius [14]. Berbeda dengan SLOPE/W, SEEP/W menganalisis rembesan air dan disipasi tekanan air pori pada material seperti tanah dan batuan yang terjadi pada bendungan. SEEP/W merupakan perangkat lunak yang berbasis *computer aided design* (CAD) dasar terbatas dengan menggunakan formulasi analisis sederhana sampai dengan kompleksitas tinggi terkait permasalahan kondisi jenuh atau tidak jenuh yang bergantung pada waktu. Penerapan dan penggunaan SEEP/W biasanya digunakan dalam analisis dan desain infrastruktur pada bidang teknik sipil, geoteknik, hidrologi, hidrogeologi, dan rekayasa tambang.



Gambar 1. Plot faktor keamanan versus lambda (λ).

Sumber: Geo-Slope International Ltd. [20].

Dalam analisis *safety factor* di Geoslope, konsepnya sama dengan metode-metode umum yang biasa dipakai, seperti metode Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern-Price, Sarma, dan lain-lain [20]. Dalam analisis faktor keamanan di Geo-studio, prinsip yang digunakan adalah *general limit equilibrium* (GLE). Persamaan (3) merupakan faktor keamanan GLE dengan mempertimbangkan momen ekuilibrium.

$$F_m = \frac{\sum (c' \beta R + (N - \mu \beta) R \tan \phi')}{\sum W_x - \sum N_f \pm \sum D_d} \quad (3)$$

Sedangkan faktor keamanan yang mempertimbangkan ekuilibrium gaya horizontal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4).

$$F_f = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - \mu \beta) \cos \alpha \tan \phi')}{\sum N \sin \alpha - \sum D \cos \omega} \quad (4)$$

dengan keterangan simbol persamaan 3 dan 4 adalah sebagai berikut.

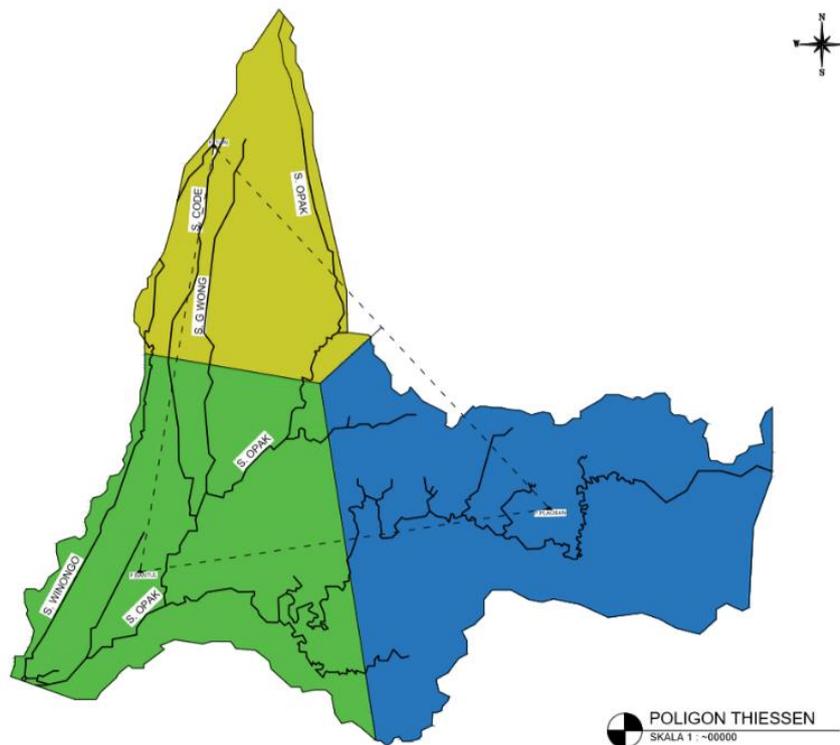
c'	= Kohesi efektif
ϕ'	= Sudut efektif gesekan
U	= Tekanan air pori
N	= Gaya normal bidang irisan
W	= Berat irisan
D	= Beban titik terkonsentrasi
$\beta, R, x, f, d, \omega$	= Parameter geometri
α	= Inklinasi dari dasar irisan.

Rumusan GLE dalam menghitung F_m dan F_f untuk variasi nilai lambda (λ) dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar 1 menentukan di letak metode-metode analisis faktor keamanan yang digunakan pada program SLOPE/W.

3. Pembahasan

3.1. Analisis banjir

Analisis pertama yang dilakukan adalah perhitungan curah hujan pada Kali Code Sub-DAS Opak menggunakan metode Thiessen. Gambar 2 menunjukkan analisis tersebut di daerah aliran sungai (DAS) yang ditinjau. DAS Opak memiliki 11 sub-DAS yaitu Opak (7.044,71 ha), Buntung (888,43 ha), Code (144,50 ha), Gajah Wong (1.966,03 ha), Gawe (981,80 ha), Kuning (282,83 ha), Bulus (1.927,40 ha), Belik (532,60 ha), Tambak Bayan (958,61 ha), Winongo Kecil (4.346,25 ha), dan Winongo (5.594,68). Penelitian ini meninjau Kali Code yang berada di Sub-DAS Code yang masih dalam kawasan DAS Opak. Dalam analisis banjir di Kali Code, tinjauan stasiun hujan mencakup stasiun hujan di DAS Opak.



Gambar 2. Analisis metode Thiessen DAS Opak.

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

Data yang digunakan dalam analisis metode Thiessen dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data analisis hujan.

Data	Penjelasan
Daerah aliran sungai	Kali Code, Sub-DAS Kali Code
Stasiun hujan (BMKG Yogyakarta)	Stasiun Hujan Plaosan Stasiun Hujan Ringinharjo Stasiun Hujan Ledok Nongko

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

Data hujan yang diambil berdasarkan sumber yaitu Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta dan beberapa jurnal analisis lainnya. DAS Opak Yogyakarta memiliki tiga stasiun hujan yaitu Stasiun Hujan Plaosan, Stasiun Hujan Ringinharjo Kecamatan Bantul, dan Stasiun Hujan Ledok Nongko Kecamatan Turi. Dalam analisis hidrologi, langkah awal salah satunya adalah analisis curah hujan yang menggunakan metode Thiessen dengan menghubungkan ketiga stasiun tersebut menjadi polygon tertutup seperti yang tergambar pada peta stasiun hujan pada Gambar 2. Langkah selanjutnya adalah menghitung luasan pada setiap stasiun hujan di dalam *polygon* di DAS Kali Opak untuk mendapatkan data hujan maksimum rata-rata DAS Kali Opak. Luasan Thiessen disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas wilayah Thiessen.

Stasiun hujan	Data dari AutoCAD
Plaosan	205,394 km ²
Ringinharjo Kec. Bantul	169,588 km ²
Ledok Nongko Kec. Turi	101,541 km ²

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

Berdasarkan hasil analisis Thiessen, diperoleh hujan terbobot pada DAS tersebut yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil hujan terbobot.

Tahun	Curah hujan terbobot (mm)
2008	179,478
2009	162,371
2010	167,295
2011	135,073
2012	147,487
2013	148,139
2014	204,591
2015	194,490
2016	201,136
2017	191,323

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

Analisis uji frekuensi dan validitas curah hujan pada analisis hidrologi atau banjir dilakukan dengan parameter statistik. Parameter yang biasa digunakan dalam analisis frekuensi adalah nilai rata-rata, deviasi standar data curah hujan, koefisien kemencengan (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck) [5, 10]. Dalam penelitian ini, metode distribusi frekuensi dianalisis menggunakan metode Normal, Distribusi Normal, Log Pearson Tipe III, dan Gumbel. Dari hasil analisis tersebut, dilakukan uji validitas menggunakan uji chi-square dan disimpulkan bahwa data hujan yang digunakan adalah rencana kala ulang banjir tahunan menggunakan metode Gumbel.

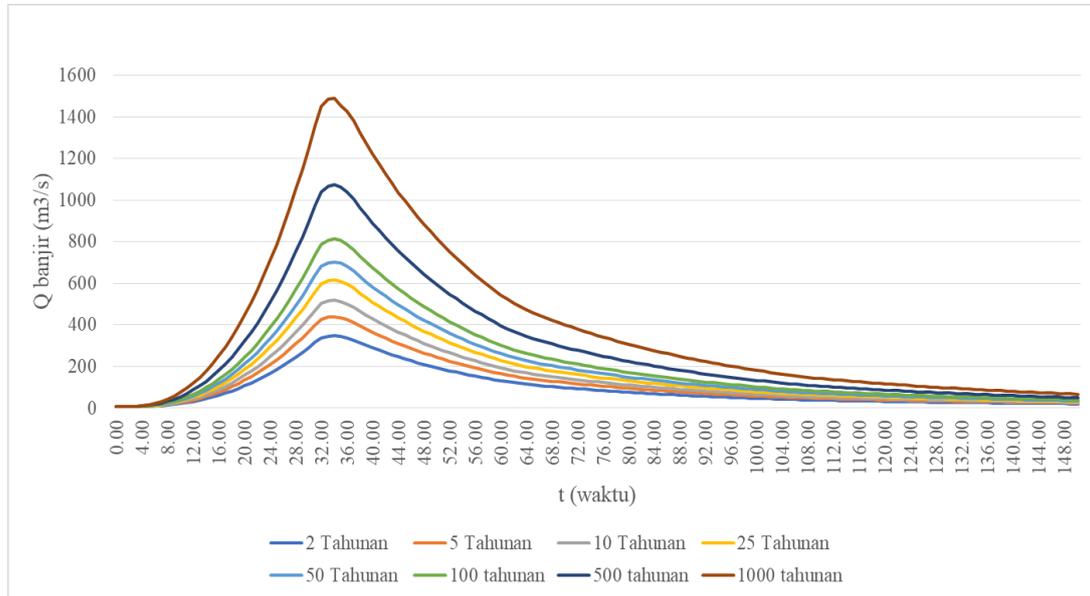
Setelah analisis frekuensi dan uji validitas data hujan, dilanjutkan analisis HSS Nakayasu. Tabel 4 dan Gambar 3 menunjukkan hasil analisis hidrograf banjir rancangan pada DAS yang dikaji untuk periode banjir kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, 100 tahun, 500 tahun, dan 1000 tahun.

Tabel 4. Hasil debit banjir rancangan.

Kala ulang (tahun)	Debit banjir (m ³ /detik)	Kode di program HEC-RAS
2	390,187	PF1
5	493,199	PF2
10	580,867	PF3
25	690,125	PF4

Kala ulang (tahun)	Debit banjir (m ³ /detik)	Kode di program HEC-RAS
50	789,372	PF5
100	911,966	PF6
500	1204,783	PF7
1000	1663,060	PF8

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21]

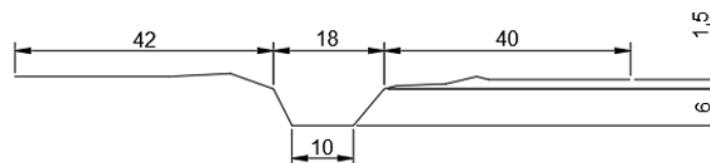


Gambar 3. Banjir rancangan HSS Nakayasu.

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

3.2. Analisis banjir

Analisis saluran dilakukan pada tiga bagian utama. Analisis pada penelitian ini, yaitu saluran bagian hulu, saluran bagian tengah, dan saluran bagian hilir untuk mengetahui kapasitas saluran dan mengetahui kondisi saluran aman atau tidak dari terjadinya banjir. Pengamatan dilakukan menggunakan pengamatan sederhana, sehingga dimensi saluran sepenuhnya belum bisa menggambarkan kondisi secara persis di lapangan. Simulasi dari hasil analisis HEC-RAS ini menggambarkan profil muka aliran air banjir yang terjadi di saluran DAS yang ditinjau. Gambar 4-6 menunjukkan *cross section* dimensi saluran hasil pengamatan di lapangan. Gambar-gambar tersebut merupakan kondisi eksisting di Kali Code. Dimensi data didapatkan dari data sekunder dan data pengamatan di lapangan. Dari hasil data hidrolika saluran eksisting, kemudian diplot pada program HEC-RAS untuk visualisasi profil aliran muka banjir pada saluran tinjauan, sesuai dengan Gambar 7.



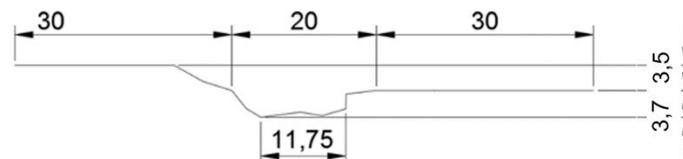
Gambar 4. Dimensi saluran bagian hulu sungai (dimensi dalam satuan meter).

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21]



Gambar 5. Dimensi saluran bagian tengah sungai (dimensi dalam satuan meter).

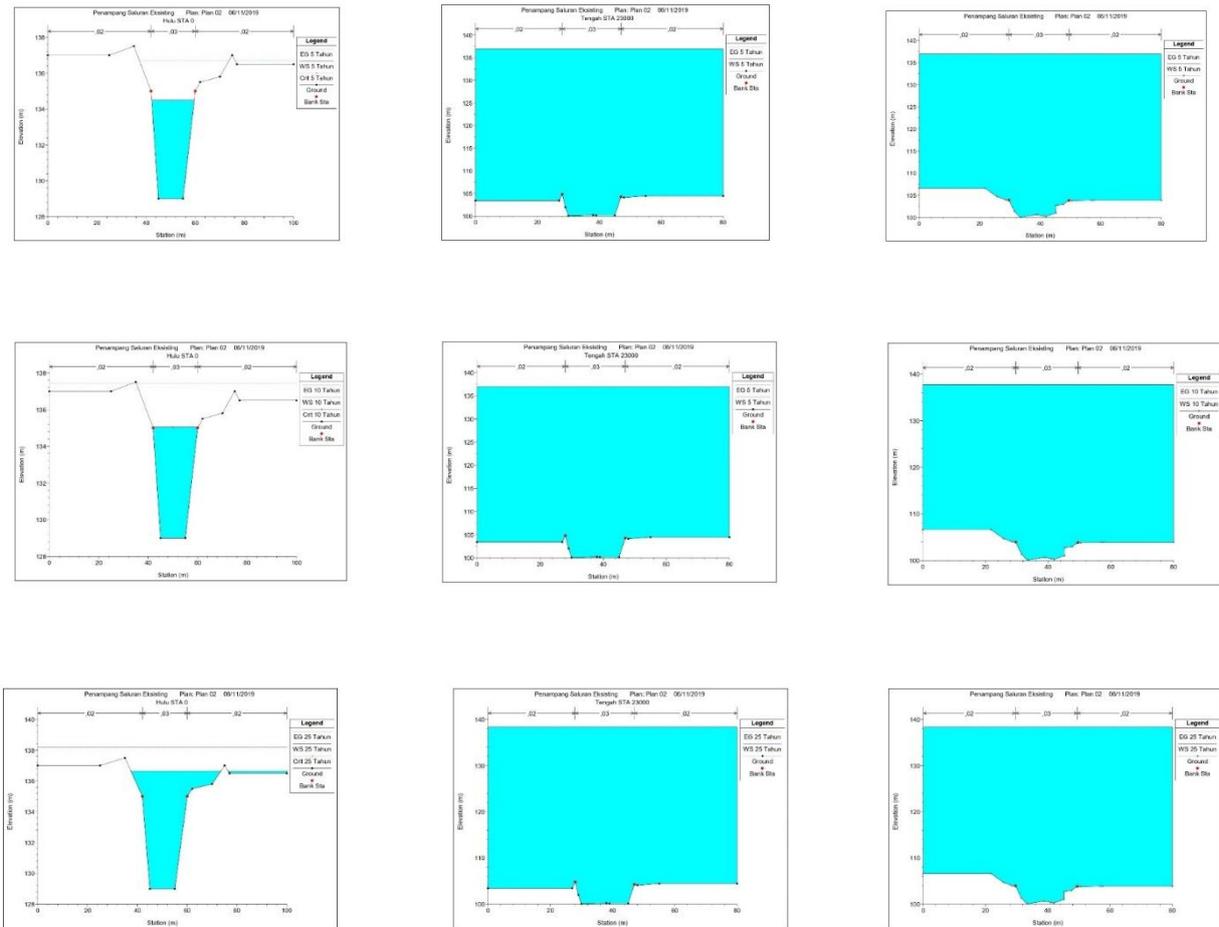
Sumber: Prastica, Adi, Famila [21]



Gambar 6. Dimensi saluran bagian hilir sungai (dimensi dalam satuan meter).

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

Pemodelan HEC-RAS pada saluran eksisting DAS dilakukan untuk mengetahui kondisi hidrolika saluran ketika debit banjir setiap kala tahun, sehingga terlihat dengan jelas tingkat keparahan banjir pada saluran. Berikut sampel pemodelan HEC-RAS pada saluran eksisting, tergambar pada Gambar 7.



(a) Saluran bagian hulu Sta +0,00 (b) Saluran bagian tengah Sta +2300 (c) Saluran bagian hilir Sta +42166,6

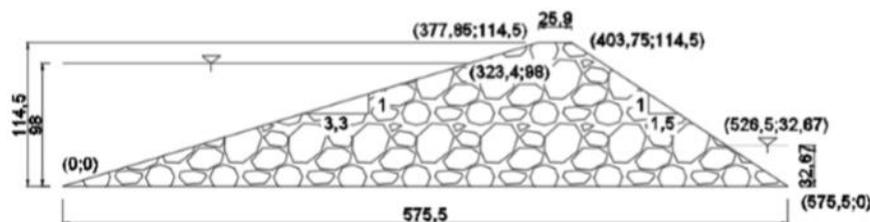
Gambar 7. Profil muka aliran banjir untuk kala ulang 5 tahun, 10 tahun, dan 25 tahun.

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

Gambar 7 merupakan sampel profil muka aliran banjir penampang sungai pada bagian hulu, tengah, dan hilir. Berdasarkan simulasi HEC-RAS tersebut, aliran banjir pada saluran bagian tengah dan hilir memiliki kapasitas saluran yang kurang dengan desain banjir yang terjadi. Sehingga, aliran banjir melimpas keluar saluran. Sedangkan bagian saluran hulu merupakan bagian yang memiliki kapasitas sungai yang cukup dengan desain banjir. Profil aliran banjir menunjukkan pelimpasan keluar saluran saat desain banjir kala ulang 25 tahun dengan volume yang kecil.

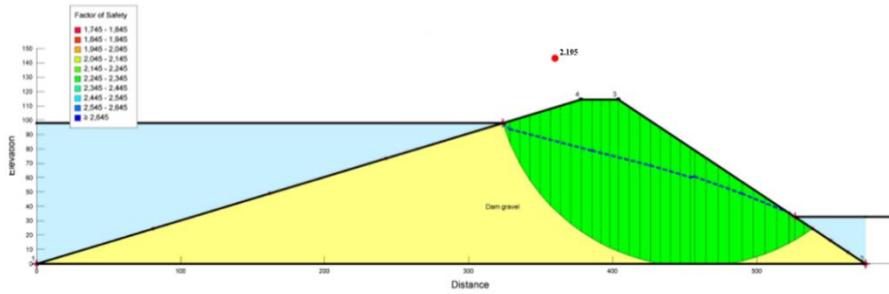
3.3. Analisis banjir

Berdasarkan hasil prediksi pada simulasi pemodelan satu dimensi perangkat lunak HEC-RAS, beberapa bagian sungai rentan terhadap banjir bila curah hujan tinggi. Dalam upaya pemeliharaan infrastruktur air yang eksisting, diusulkan bendungan sebagai mitigasi banjir. Hasil analisis desain bendungan disajikan pada Gambar 8. Pada rancangan ini, bendungan memiliki *safety factor* sebesar 2,195 berdasarkan analisis Geo-Studio seperti pada Gambar 9. Namun, ada alternatif usulan rancangan bendungan dengan material berbeda seperti terlihat pada Gambar 10. Dengan susunan material yang berbeda, bendungan II mendapatkan angka keamanan bendungan lebih besar, yaitu 2,267, seperti pada Gambar 11, sehingga, bendungan II terpilih dalam analisis reduksi banjir. Pemodelan dua alternatif material bendungan dilakukan untuk mendapatkan material yang lebih efektif dibangun pada DAS tinjauan. Selain itu, perlu dilakukan tinjauan awal di lapangan mengenai ketersediaan material untuk konstruksi bendungan. Setelah itu, baru dapat ditentukan material efektif untuk konstruksi bendungan. Dari kedua alternatif tersebut, faktor keamanan bendungan masih aman.



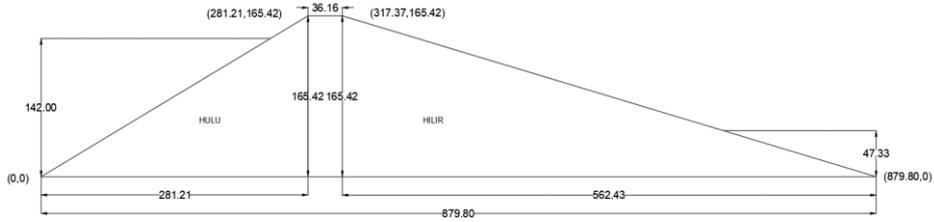
Gambar 8. Desain bendungan I.

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].



Gambar 9. Analisis stabilitas bendungan I.

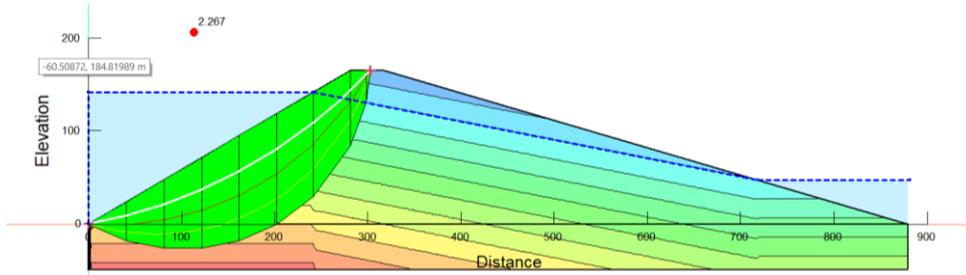
Sumber: Prastica, Adi, Famila [21]



Gambar 10. Rancangan bendungan II.

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

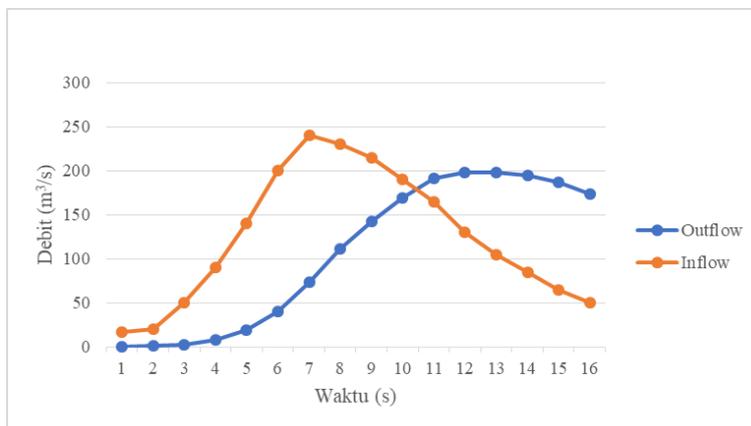
Gambar 8 dan Gambar 10 merupakan desain bendungan yang didesain berdasarkan kondisi kedalaman air, kecepatan angin, *fetch*, dan kemiringan bagian hulu dan hilir bendung. Perbedaan pada kedua alternatif bendungan adalah kemiringan pada bagian hulu dan hilirnya. *Seepage* dan angka keamanan bendungan kemudian dianalisis menggunakan Geo-Studio dengan alternatif bendungan pertama, Gambar 9, mendapatkan faktor keamanan 2,195. Sama halnya dengan alternatif bendungan I, analisis *seepage* dan faktor keamanan dilakukan menggunakan Geo-Studio dan mendapatkan angka 2,267, seperti yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Analisis safety factor bendungan II.

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21].

Bendungan II yang diusulkan diharapkan dapat mereduksi banjir yang terjadi. Analisis *flood routing* digunakan untuk mengetahui tingkat efektivitas bendungan yang dibangun untuk pengendalian banjir pada DAS tersebut. Berdasarkan hasil analisis *flood routing* dan grafik seperti terlihat pada Gambar 12, maka diperoleh nilai efektivitas dengan adanya bendungan yaitu sebesar 10% dengan kapasitas *outflow* terbesar yaitu 731,957 cms.



Gambar 12. Grafik reduksi banjir.

Sumber: Prastica, Adi, Famila [21]

4. Kesimpulan

Analisis banjir pada daerah tinjauan dilakukan menggunakan metode Thiessen dan Nakayasu dalam kesatuan analisis hidrologi. Berdasarkan hasil analisis hidrologi, saluran eksisting mengalami banjir akibat saluran pada kondisi eksisting di DAS tinjauan tidak dapat mengakomodasi volume atau jumlah debit banjir perencanaan yang terjadi. Hal ini didukung dengan hasil visualisasi profil aliran banjir saluran menggunakan *software* HEC-RAS. Perencanaan bendungan dilakukan sebagai tindakan untuk mengurangi debit banjir pada Kali Code. Desain bendungan yang digunakan berdasarkan nilai elevasi dan *safety factor* terbesar yaitu bendungan II tipe homogen dengan material *gravels*, berbentuk trapesium, dan nilai S_f sebesar 2,267.

Selanjutnya, analisis *flood routing* dilakukan untuk memberikan prediksi persentase reduksi banjir dari bendungan yang diusulkan. Berdasarkan hasil analisis *flood routing* dan grafik analisis, maka diperoleh nilai efektivitas dengan adanya bendungan tersebut untuk mengurangi debit banjir di Kali Code yaitu sebesar 10% dengan kapasitas *outflow* terbesar yaitu 731,957 cms. Rekomendasi pemeliharaan bendungan dapat disesuaikan dengan pedoman Direktorat Jenderal SDA tahun 2003, dijelaskan bahwa pemeliharaan berupa tindakan inspeksi, evaluasi keamanan bendungan, pengelolaan secara operasional dan pemeliharaan bendungan dapat dilakukan secara periodik dalam waktu 1 tahunan, 2 tahunan, 5 tahunan, dan 10 tahunan. Untuk inspeksi khusus yang akan dilakukan pada bendungan dapat dilaksanakan untuk menilai kondisi bendungan agar fungsinya bisa berjalan secara maksimum.

Bentuk tindakan pemeliharaan bendungan dapat disesuaikan dengan Peraturan Menteri PUPR No. 27/PRT/M/2015 yang menjelaskan bahwa pemeliharaan dibagi atas periode: rutin, berkala, dan luar biasa. Dalam pemeliharaan rutin, bisa dilakukan perawatan jalan, drainase lingkungan, dan menara *intake*. Dalam pemeliharaan berkala, dapat dilakukan upaya pertahanan volume waduk dan pengurangan sedimen yang masuk. Sedangkan pemeliharaan luar biasa dapat dilakukan ketika terjadi kerusakan saat banjir, gempa bumi, kegagalan hidrolis atau rembesan, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Giyarsih, S. R., & Marfai, M. A. (2018). The perception of stakeholders on regional transformation on the outskirts of Yogyakarta City, Indonesia. *GeoJournal*, vol. 83, no. 5, pp. 983–991.
- [2] Fadlillah, L. N., Widyastuti, M., Geotongsong, T., Sunarto, & Marfai, M. A. (2019). Hydrological characteristics of estuary in Wulan Delta in Demak Regency, Indonesia. *Water Resources*, vol. 46, no. 6, pp. 832–843.
- [3] Marfai, M. A., King, L., Singh, L. P., Mardiatno, D., Sartohadi, J., Hadmoko, D. S., & Dewi, A. (2008). Natural hazards in Central Java Province, Indonesia: An overview. *Environmental Geology*, vol. 56, no. 2, pp. 335–351.
- [4] Prastica, R. M. S. (2018). The analysis of Ancol polder system as flood prevention infrastructure in Jakarta. *MATEC Web of Conferences*, vol. 195, pp. 05008-1-10.
- [5] Prastica, R. M.S., Maitri, C., Hermawan, A., Nugroho, P. C., Sutjningsih, D., & Anggraheni, E. (2018). Estimating design flood and HEC-RAS modelling approach for flood analysis in Bojonegoro city. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 316, pp. 012042.
- [6] Marfai, M. A., Sekaranom, A. B., & Ward, P. (2015). Community responses and adaptation strategies toward flood hazard in Jakarta, Indonesia. *Natural Hazards*, vol. 75, no. 2, pp. 1127–1144.
- [7] Liu, J., Shao, W. W., Xiang, C., Mei, C., & Li, Z. (2020). Uncertainties of urban flood modeling: Influence of parameters for different underlying surfaces. *Environmental Research*, vol. 182, pp. 108929.
- [8] Leandro, J., Schumann, A., & Pfister, A. (2016). A step towards considering the spatial heterogeneity of urban key features in urban hydrology flood modelling. *Journal of Hydrology*, vol. 535, pp. 356–365.
- [9] Lavigne, F. (1999). Lahar hazard micro-zonation and risk assessment in Yogyakarta city, Indonesia. *GeoJournal*, vol. 49, no. 2, pp. 173–183.
- [10] Prastica, R. M.S., Maitri, C., Nugroho, P. C., & Hermawan, A. (2017). Analisis Banjir dan perencanaan desain transportasi sungai di Kota Bojonegoro. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 23, no. 2, pp. 91-101.
- [11] Prakash, M., Hilton, J., & Ramachandran, L. (2015). Integrating hydrodynamic and hydraulic modeling for evaluating future flood mitigation in urban environments. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 448, pp. 282–292.
- [12] Shenava, N., & Shourian, M. (2018). Optimal reservoir operation with water supply enhancement and flood mitigation objectives using an optimization-simulation approach. *Water Resources Management*, vol. 32, no. 13, pp. 4393–4407.
- [13] Unami, K., & Kawachi, T. (2005). Systematic assessment of flood mitigation in a tank irrigated paddy fields area. *Paddy and Water Environment*, vol. 3, no. 4, pp. 191–199.
- [14] Prastica, R. M.S., Apriatresnayanto, R., & Marthanty, D. R. (2019). Structural and green infrastructure mitigation alternatives prevent Ciliwung River from water-related landslide. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 9, no. 6, pp. 1825–1832.
- [15] Wang, J., Zhang, Z., Greimann, B., & Huang, V. (2018). Application and evaluation of the HEC-RAS – riparian vegetation simulation module to the Sacramento River. *Ecological Modelling*, vol. 368, pp. 158–168.
- [16] Quiroga, V. M., Kurea, S., Udo, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Ribagua*, vol. 3, no. 1, pp. 25–33.
- [17] Drake, J., Bradford, A., & Joy, D. (2010). Application of HEC-RAS 4.0 temperature model to estimate groundwater contributions to Swan Creek, Ontario, Canada. *Journal of Hydrology*, vol. 389, no. 3–4, pp. 390–398.
- [18] Jeong, H., Kim, H., Jang, T., & Park, S. (2015). Assessing the effects of indirect wastewater reuse on paddy irrigation in the Osan River watershed in Korea using the SWAT model. *Agricultural Water Management*, vol. 163, pp. 393–402.
- [19] Kang, M. S., Koo, J. H., Chun, J. A., Her, Y. G., Park, S. W., & Yoo, K. (2009). Design of drainage culverts considering critical storm duration.

Biosystems Engineering, vol. 104, no. 3, pp. 425–434.

[20] Krahn, J. (2004). *Stability Modeling with SLOPE/W*. Calbary, AB, Canada: GEO-SLOPE/W International Ltd.

[21] Prastica, R. M.S., Adi, D. A. R., & Famila, N. (2020). *Analisis pendahuluan tentang pemeliharaan infrastruktur keairan di DAS Opak, Kali Code, Yogyakarta*. Tidak Dipublikasikan. Yogyakarta.