

## PEMETAAN KERAWANAN BANJIR DI KOTA SURAKARTA

Faisal Adyaksa Ramadhan<sup>1</sup>, Rintis Hadiani<sup>2</sup> dan Adi Yusuf Muttaqien<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta

Email: faisaladyaksa@student.uns.ac.id

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta

Email: rintis@ft.uns.ac.id

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta

Email: adiyusufmuttaqien@staff.uns.ac.id

### ABSTRACT

Floods have become one of the problems occurring in the city of Surakarta. The floods are caused by the overflow of the tributaries of the Bengawan Solo River, located within the Surakarta City area. One of the strategies for flood disaster management is through flood zone mapping. In flood vulnerability mapping, hydrological analysis is conducted to determine the magnitude of the flood discharge for different return periods ( $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{25}$ , and  $Q_{50}$ ) using the HSS SCS method, which will serve as input for the HEC-RAS program to simulate floods, used as determining variables in flood vulnerability mapping. The results of the flood simulation analysis indicate that the level of vulnerability in non-vulnerable areas has a flood area limit ranging from 1.05 ha to 8.93 ha, a maximum flood depth limit ranging from 0.24 m to 0.57 m, and a maximum flood velocity limit ranging from 0.06 m/sec to 0.21 m/sec. For areas with low vulnerability, the flood area limit ranges from 8.93 ha to 16.80 ha, the maximum flood depth limit ranges from 0.57 m to 0.90 m, and the maximum flood velocity limit ranges from 0.21 m/sec to 0.35 m/sec. For areas with moderate vulnerability, the flood area limit ranges from 16.80 ha to 24.68 ha, the maximum flood depth limit ranges from 0.90 m to 1.23 m, and the maximum flood velocity limit ranges from 0.35 m/sec to 0.50 m/sec. For areas with high vulnerability, the flood area limit ranges from 24.68 ha to 32.55 ha, the maximum flood depth limit ranges from 1.23 m to 1.55 m, and the maximum flood velocity limit ranges from 0.50 m/sec to 0.64 m/sec.

Keywords: floods, return period discharge, flood mapping, flood vulnerability

### ABSTRAK

Banjir menjadi salah satu permasalahan yang terjadi di Kota Surakarta. Banjir yang terjadi disebabkan oleh luapan anak sungai Bengawan Solo yang terletak di Wilayah Kota Surakarta. Salah satu strategi untuk melakukan penanggulangan bencana banjir adalah dengan cara pemetaan wilayah banjir. Pada pemetaan kerawanan banjir dilakukan analisis hidrologi untuk mengetahui besarnya debit banjir periode ulang ( $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{25}$ , dan  $Q_{50}$ ) dengan metode HSS SCS yang akan menjadi masukan pada program HEC-RAS dalam melakukan simulasi banjir yang akan digunakan sebagai variabel penentu dalam pemetaan kerawanan banjir. Hasil analisis simulasi banjir menunjukkan tingkat kerawanan tidak rawan memiliki batasan luas banjir sebesar 1,05 ha sampai dengan 8,93 ha, batasan kedalaman banjir maksimum sebesar 0,24 m sampai dengan 0,57 m, dan batasan kecepatan banjir maksimum sebesar 0,06 m/det sampai dengan 0,21 m/det. Untuk tingkat kerawanan rendah memiliki batasan luas banjir sebesar 8,93 ha sampai dengan 16,80 ha, batasan kedalaman banjir maksimum sebesar 0,57 m sampai dengan 0,90m, dan batasan kecepatan banjir maksimum sebesar 0,21 m/det sampai dengan 0,35 m/det. Untuk tingkat kerawanan sedang memiliki batasan luas banjir sebesar 16,80 ha sampai dengan 24,68 ha, batasan kedalaman banjir maksimum sebesar 0,90 m sampai dengan 1,23 m, dan batasan kecepatan banjir maksimum sebesar 0,35 m/det sampai dengan 0,50 m/det. Untuk tingkat kerawanan tinggi memiliki batasan luas banjir sebesar 24,68 ha sampai dengan 32,55 ha, batasan kedalaman banjir maksimum sebesar 1,23 m sampai dengan 1,55 m, dan batasan kecepatan banjir maksimum sebesar 0,50 m/det sampai dengan 0,64 m/det.

Kata kunci: banjir, debit periode ulang, pemetaan banjir, kerawanan banjir

## 1. PENDAHULUAN

Banjir adalah suatu kondisi dimana air meluap dan melimpah di atas permukaan yang normal. Banjir disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan sungai yang tidak mampu menampung debit air yang tinggi menyebabkan wilayah-wilayah daratan menjadi tergenang (Sihotang, 2016). Keadaan ini dapat menyebabkan kerugian material, merusak infrastruktur, dan membahayakan keselamatan penduduk serta lingkungan.

Salah satu strategi untuk melakukan penanggulangan bencana banjir adalah dengan cara penelusuran aliran banjir juga dapat diartikan sebagai suatu cara dalam menentukan waktu dan besaran banjir di suatu titik sungai berdasarkan data yang diketahui (Nugroho, 2021). Data yang didapatkan melalui penelusuran banjir akan digunakan dalam variabel pemetaan. Pemetaan merupakan proses pengumpulan data untuk dijadikan variabel dalam pembuatan peta (Hamdikatama, 2020). Untuk mengetahui model pemetaan wilayah terdampak banjir dengan bantuan *Software HEC-RAS* diperlukan analisis perhitungan untuk mencari debit sungai atau saluran terlebih dahulu. Dari data hujan harian yang telah diperoleh, dapat dilakukan perhitungan debit banjir rencana periode ulang yang akan dijadikan sebagai masukan dalam proses simulasi banjir pada HEC-RAS. Simulasi dengan berdasarkan data dari sejarah banjir (*flood history*) yang ada akan dapat memberikan peran penting dalam mitigasi bencana banjir dan membantu dalam penentuan solusi dalam penanganan banjir yang akan diambil.

Pemetaan wilayah banjir akan menggambarkan kerawanan banjir dari kecamatan yang didasarkan pada luas genangan banjir, tinggi maksimum genangan banjir, dan kecepatan maksimum aliran banjir yang akan terjadi. Proses pemetaan dilakukan dengan mensimulasikan banjir pada aplikasi HEC-RAS yang kemudian hasil dari simulasi tersebut akan dijadikan variabel dalam penentuan tingkat kerawanan banjir pada setiap kecamatan. Hasil kerawanan yang telah diperoleh akan digambarkan dalam bentuk Peta Kerawanan Banjir Kota Surakarta. Peta Kerawanan Banjir di Kota Surakarta akan dapat meningkatkan kewaspadaan terhadap masyarakat yang tinggal di wilayah terdampak banjir di Kota Surakarta serta dapat menjadi acuan dalam mitigasi banjir yang akan dilakukan.

## LANDASAN TEORI

Pemetaan banjir adalah proses untuk mengidentifikasi, memetakan, dan menganalisis wilayah yang rentan terhadap banjir serta karakteristik banjir yang terjadi (Muhammad Irfan, 2022). Tujuan utama dari pemetaan banjir adalah untuk memahami pola aliran air, luas genangan, kedalaman genangan, dan kecepatan aliran yang terkait dengan peristiwa banjir (Pangestu, 2016). Informasi yang diperoleh dari pemetaan banjir sangat penting dalam mengembangkan strategi penanggulangan bencana, perencanaan tata ruang, dan pengambilan keputusan terkait mitigasi risiko banjir. Selain itu informasi yang diperoleh dari pemetaan banjir dapat menjadi variabel dalam pembuatan peta kerawanan banjir.

### Uji Konsistensi Data Hujan

Uji konsistensi data hujan dengan menggunakan metode double mass curve adalah metode yang digunakan untuk membandingkan dan menguji konsistensi data hujan dari stasiun hujan yang berbeda atau dari periode waktu yang berbeda. Metode ini menggambarkan hubungan antara akumulasi data hujan dari stasiun atau periode waktu tersebut. Dengan menguji konsistensi data, kita dapat memastikan bahwa data hujan yang digunakan merupakan representasi yang akurat dan dapat diandalkan dari peristiwa hujan di wilayah tersebut. Konsistensi data hujan ditentukan berdasarkan grafik dari hasil analisis apabila garis pada grafik membentuk garis lurus maka data hujan yang digunakan dapat dikatakan konsisten.

### Hujan Wilayah

Perhitungan hujan wilayah dapat dihitung menggunakan metode poligon Thiessen. Pada metode ini dilakukan perhitungan dengan menjumlahkan hujan maksimum harian tahunan pada DAS yang terpengaruhi oleh suatu stasiun hujan dengan koefisien thiessen sesuai pada setiap stasiun (Suripin, 2004). Metode Poligon Thiessen digunakan pada keadaan hujan yang tidak tersebar merata.

Nilai hujan wilayah dengan metode polygon Thiessen dihitung dengan persamaan 1.

$$\bar{p} = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

dengan  $\bar{p}$  = hujan rerata kawasan,  $p_1, p_2, \dots, p_n$  = hujan di stasiun 1, 2, 3, ..., n,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n.

## Kalibrasi Data Hujan

Proses kalibrasi data hujan dilakukan antara hasil data hujan wilayah harian maksimum tahunan dari stasiun hujan dengan data hujan harian maksimum tahunan TRMM. Data hujan TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) adalah data hujan yang dihasilkan dari satelit TRMM yang diluncurkan oleh Badan Antariksa Amerika Serikat (NASA) dan Badan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Antariksa Jepang (JAXA). Misi TRMM bertujuan untuk mengukur dan memantau curah hujan tropis di seluruh dunia. Data hujan TRMM didapatkan melalui penggunaan instrumen satelit TRMM, termasuk alat pengukur curah hujan *Microwave Imager* (TMI) dan *Precipitation Radar* (PR). Kedua instrumen tersebut memberikan informasi tentang karakteristik hujan, termasuk intensitas, distribusi spasial, dan pola temporal hujan tropis. Kalibrasi data hujan dilakukan dengan metode *random forest regression* dengan mengalikan data hujan TRMM dengan koefisien tertentu untuk mendapatkan nilai hujan yang akurat dan sesuai (Jarwanti et al., 2021).

## Analisis Distribusi Hujan

Analisis distribusi hujan adalah proses untuk memahami pola distribusi atau karakteristik statistik data hujan yang terjadi di suatu wilayah (Isa et al., 2020). Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi model atau fungsi matematis yang dapat digunakan untuk memodelkan distribusi hujan dengan akurat (Nadia et al., 2019). Salah satu jenis distribusi hujan adalah distribusi Gumbel. Metode ini disebut juga distribusi ekstrem tipe I (*extreme type I distribution*). Bentuk distribusi Gumbel dihitung dengan persamaan 2.

$$X_T = \bar{x} + S.K \quad (2)$$

dengan  $X_T$  = besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun,  $\bar{x}$  = nilai tengah sampel, K = faktor frekuensi, S = standar deviasi sampel.

## Kecocokan Distribusi Data

Uji chi kuadrat merupakan salah satu uji statistik yang umum digunakan dalam analisis data untuk menguji kesesuaian antara distribusi yang diamati dengan distribusi yang diharapkan. Uji ini biasanya digunakan ketika data yang diamati terdiri dari variabel kategorikal atau data frekuensi. Pengujian Chi Kuadrat bertujuan untuk menentukan apakah peluang persamaan distribusi yang dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampai data yang dianalisis. Uji Chi Kuadrat dapat dihitung dengan persamaan 3 (Triatmodjo, 2010).

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3)$$

dengan  $X^2$  = parameter chi kuadrat terhitung, G = jumlah sub kelompok,  $O_i$  = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i,  $E_i$  = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i.

## Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan adalah angka yang digunakan untuk menggambarkan sejauh mana curah hujan yang jatuh di suatu wilayah akan mengalir sebagai limpasan permukaan (Wigati & Soedarsono, 2016). Koefisien limpasan merupakan perbandingan antara volume limpasan yang dihasilkan dengan volume curah hujan yang jatuh di suatu area atau daerah. Koefisien limpasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk karakteristik fisik tanah, vegetasi, penggunaan lahan, topografi, dan kondisi drainase. Setiap jenis permukaan atau jenis penggunaan lahan memiliki koefisien limpasan yang berbeda. Misalnya, permukaan tanah yang tertutup oleh hutan atau vegetasi yang lebat biasanya memiliki koefisien limpasan yang lebih rendah daripada permukaan yang keras seperti jalan atau bangunan. Perhitungan koefisien limpasan dilakukan dengan cara mengalikan luas setiap jenis lahan dengan koefisien penutup lahan.

## Hujan Efektif

Nilai hujan yang mengalir dan kemudian masuk ke sungai merupakan definisi hujan efektif. Berdasarkan pengertian tersebut perhitungan hujan efektif sangat berkaitan dengan koefisien limpasan pada suatu wilayah (Siswanto et al., 2019). Nilai hujan efektif dihitung dengan persamaan 4.

$$\text{Hujan Efektif} = P \times C \quad (4)$$

dengan P = nilai curah hujan, C = nilai koefisien limpasan.

### **Waktu Konsentrasi**

Waktu konsentrasi atau  $t_c$  merupakan lamanya air hujan jatuh dan mengalir dari hulu ke hilir pada masing – masing sungai. Data yang berpengaruh terhadap perhitungan waktu konsentrasi diantara lain adalah kemiringan sungai, Panjang sungai, dan koefisien aliran

$$t_c = \frac{0,87 \times L^2}{1000 \times s} \quad (5)$$

dengan L = panjang efektif aliran permukaan, S = gradien permukaan (*slope*) dalam persen atau fraksi.

### **Hidrograf Satuan Sintetis SCS (*Soil Conservation Services*)**

HSS SCS (*Soil Conservation Service*) adalah metode yang digunakan untuk melakukan analisis hidrologi dalam menentukan debit aliran permukaan yang dihasilkan dari suatu daerah aliran. Metode ini dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) dan didasarkan pada metode *Soil Conservation Service* (SCS) yang awalnya dikembangkan oleh Badan Konservasi Tanah Amerika Serikat. Metode HSS SCS menggunakan kurva jumlah air yang hilang (*loss*) dan metode distribusi probabilitas untuk menghitung debit aliran permukaan dalam berbagai periode ulang. Metode ini mempertimbangkan karakteristik hidrologi dari suatu daerah aliran, termasuk tipe tanah, kondisi vegetasi, curah hujan, dan infiltrasi tanah (Pangemanan *et al.*, 2020).

### **HEC-HMS**

HEC-HMS merupakan salah satu program yang dapat digunakan sebagai alat pemodelan data hujan yang ada menjadi debit. HEC-HMS merupakan program yang dirancang oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC). HEC-HMS merupakan model hidrologi numerik yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Centre* (HEC) dari *US Army Corps of Engineers* (Kereh *et al.*, 2018). Struktur pembangun model HEC-HMS terdiri dari enam komponen, antara lain model hujan, model volume limpasan, model limpasan langsung, model aliran dasar, model penelusuran aliran dan model *water control measure* yang meliputi *diversions dan storage facilities*. Elemen terpenting dalam perangkat lunak HEC-RAS ialah ketersediaan geometri saluran, baik memanjang maupun melintang (Ramadhan *et al.*, 2022).

### **HEC-RAS**

Salah satu program yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi banjir berdasarkan sejarah banjir (*flood history*). HEC-RAS ialah singkatan dari (*Hydraulic Engineering Center-River Analysis System*). Software ini dirancang oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi dalam *Institute for Water Resources*, di bawah *US Army Corps of Engineers* (USAGE) (Aliyansyah, 2017). HEC-RAS ialah perangkat lunak yang dirancang untuk penggunaan yang interaktif dalam situasi serta kondisi yang berbeda-beda. Penggunaan HEC-RAS digunakan untuk menghitung profil muka air dengan pemodelan aliran steady dan unsteady, serta penghitungan transport sedimen. Elemen terpenting dalam perangkat lunak HEC-RAS ialah ketersediaan geometri saluran, baik memanjang maupun melintang (Sitanggang, Suprayogi, 2018).

### **ArcGIS**

ArcGIS adalah sebuah perangkat lunak sistem informasi geografis (GIS) yang dikembangkan oleh perusahaan Esri. Program ini adalah salah satu perangkat lunak GIS yang paling populer dan banyak digunakan di seluruh dunia (Matondang *et al.*, 2022). ArcGIS menyediakan berbagai alat dan fungsi untuk mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data geografis. Dengan menggunakan ArcGIS, pengguna dapat membuat peta interaktif, mengintegrasikan data spasial dengan data atribut, melakukan analisis spasial, dan menghasilkan informasi yang berharga dari data geografis. Data yang diolah pada SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang sebagian berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti lokasi, kondisi, tren, pola dan pemodelan. Kemampuan ini yang membedakan SIG dan sistem informasi lainnya (Utomo *et al.*, 2019)

## **2. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif. Analisis perhitungan debit periode ulang menggunakan aplikasi HEC-HMS dengan metode HSS SCS, kemudian dilakukan simulasi banjir dengan memasukkan dari hasil analisa HEC-HMS menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendapatkan variable luas banjir, kedalaman

maksimum banjir, dan kecepatan maksimum aliran banjir yang akan digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan banjir. Hasil analisis perhitungan kerawanan akan digambarkan melalui peta kerawanan banjir yang dibuat melalui ArcGIS. Penelitian dilakukan di Wilayah Kota Surakarta. Data – data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Data hujan harian maksimum tahunan dari Stasiun Hujan Baki, Stasiun Hujan Pabelan, dan Stasiun Hujan Mojolaban (mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2019) dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo,
2. Data hujan wilayah TRMM (mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2019) dari NASA,
3. Data geometri sungai pada lokasi penelitian,
4. Peta Administrasi Kota Surakarta,
5. Peta DEM Kota Surakarta yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) skala 1:25.000,
6. Peta Rupa Bumi Kota Surakarta berbentuk shapefile (.shp) yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) skala 1:25.000.

Data tersebut kemudian diolah dengan menggunakan beberapa perangkat yang terdiri dari:

1. Microsoft excel untuk pengolahan dan analisis data,
2. Google earth,
3. HEC-HMS untuk mensimulasikan debit banjir,
4. HEC-RAS untuk mensimulasikan wilayah yang terdampak banjir,
5. ArcGIS untuk pemetaan kerawanan wilayah banjir.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Debit Banjir Rencana**

Nilai debit rencana yang dianalisis menggunakan metode HSS SCS dengan menggunakan bantuan HEC-HMS. Debit banjir rencana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Debit Banjir Rencana, Hasil analisis

| Periode Ulang (tahun) | Debit banjir rencana (m <sup>3</sup> /detik) |             |           |            |            |              |       |           |
|-----------------------|--|-------------|-----------|------------|------------|--------------|-------|-----------|
|                       | Kali Anyar                                   | Gajah Putih | Kali Boro | Kali Jenes | Pepe Hilir | Pelem Wulung | Brojo | Pepe Hulu |
| 2                     | 52,6   | 15,9        | 8,7       | 6,7        | 62,1       | 22,6         | 2,1   | 23,8      |
| 5                     | 53,3   | 16,9        | 15,4      | 7,1        | 75,5       | 29,4         | 3,8   | 39,0      |
| 10                    | 62,1   | 18,6        | 17,0      | 7,8        | 83,2       | 32,4         | 4,2   | 43,0      |
| 25                    | 73,6   | 20,8        | 19,0      | 8,7        | 93,0       | 36,3         | 4,7   | 48,1      |
| 50                    | 82,4   | 22,4        | 20,5      | 9,4        | 100,3      | 39,1         | 5,1   | 51,9      |

#### **Data Banjir Hasil Simulasi**

Berdasarkan hasil nilai debit rencana yang dianalisis menggunakan HEC-HMS yang dijadikan sebagai masukan dalam simulasi banjir dengan bantuan HEC-RAS diperoleh data hasil simulasi banjir disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Simulasi Banjir, Hasil Analisis

| Kecamatan    | Periode Ulang (tahun) | Luas Genangan Banjir (ha) | Kedalaman Maksimum Banjir (m) | Kecepatan Aliran Maksimum (m/det) |
|--------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Pasar Kliwon | 2                     | 4,23                      | 0,24                          | 0,06                              |
|              | 5                     | 4,78                      | 0,27                          | 0,09                              |
|              | 10                    | 5,09                      | 0,27                          | 0,09                              |
|              | 25                    | 5,50                      | 0,30                          | 0,15                              |
|              | 50                    | 5,76                      | 0,34                          | 0,15                              |
| Jebres       | 2                     | 10,17                     | 0,70                          | 0,24                              |
|              | 5                     | 8,73                      | 0,73                          | 0,24                              |
|              | 10                    | 9,88                      | 0,73                          | 0,30                              |
|              | 25                    | 11,29                     | 0,76                          | 0,34                              |
|              | 50                    | 12,24                     | 0,76                          | 0,40                              |
| Laweyan      | 2                     | 21,57                     | 1,13                          | 0,52                              |
|              | 5                     | 25,69                     | 1,34                          | 0,58                              |
|              | 10                    | 28,17                     | 1,52                          | 0,58                              |
|              | 25                    | 30,67                     | 1,55                          | 0,58                              |
|              | 50                    | 32,55                     | 1,55                          | 0,64                              |
| Banjarsari   | 2                     | 2,77                      | 0,73                          | 0,18                              |
|              | 5                     | 3,96                      | 0,79                          | 0,21                              |
|              | 10                    | 4,86                      | 0,82                          | 0,24                              |
|              | 25                    | 5,86                      | 0,82                          | 0,24                              |
|              | 50                    | 6,57                      | 0,85                          | 0,24                              |
| Serengan     | 2                     | 1,05                      | 0,27                          | 0,15                              |
|              | 5                     | 1,27                      | 0,37                          | 0,15                              |
|              | 10                    | 1,39                      | 0,43                          | 0,21                              |
|              | 25                    | 1,52                      | 0,49                          | 0,30                              |
|              | 50                    | 1,61                      | 0,52                          | 0,34                              |

### Skor Kerawanan Banjir

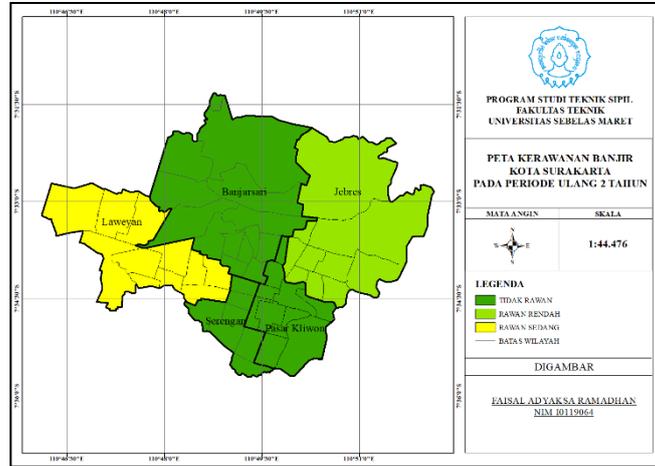
Data banjir hasil simulasi yang telah didapatkan diklasifikasikan menjadi empat kategori kerawanan yaitu tidak rawan, rawan rendah, rawan sedang, dan rawan tinggi. Hasil perhitungan analisis skor kerawanan diperoleh batasan variabel pada setiap kategori kerawanan yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Skor Kerawanan Banjir, Hasil Analisis

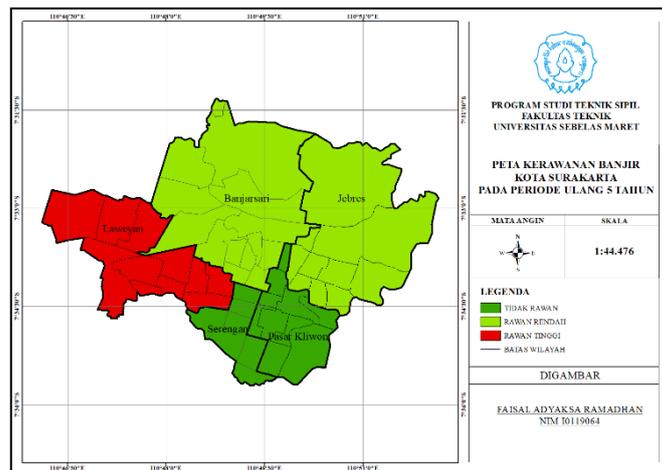
| Variabel                                   | Kategori Kerawanan | Skor Kerawanan |
|--|--------------------|----------------|
| Luas Genangan Banjir (ha)                  | Tidak Rawan        | 1,05 – 8,93    |
|  | Rawan Rendah       | 8,93 – 16,80   |
|  | Rawan Sedang       | 16,80 – 24,68  |
|  | Rawan Tinggi       | 24,68 – 32,55  |
| Kedalaman Banjir Maksimum (m)              | Tidak Rawan        | 0,24 – 0,57    |
|  | Rawan Rendah       | 0,57 – 0,90    |
|  | Rawan Sedang       | 0,90 – 1,23    |
|  | Rawan Tinggi       | 1,23 – 1,55    |
| Kecepatan Aliran Banjir Maksimum (m/detik) | Tidak Rawan        | 0,06 – 0,21    |
|  | Rawan Rendah       | 0,21 – 0,35    |
|  | Rawan Sedang       | 0,35 – 0,50    |
|  | Rawan Tinggi       | 0,50 – 0,64    |

### Peta Kerawanan Banjir

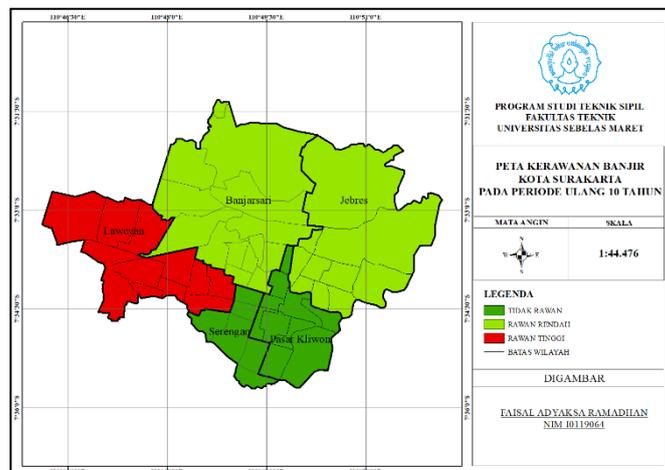
Hasil klasifikasi pada setiap kecamatan berdasarkan tiga variabel digambarkan dalam bentuk Peta Kerawanan Banjir di Kota Surakarta yang disajikan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 5.



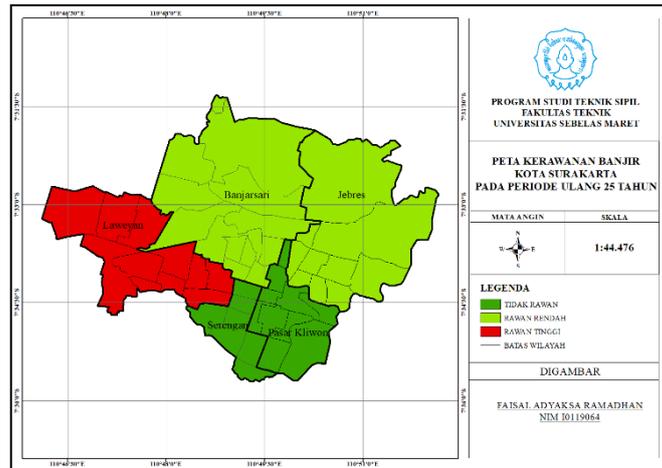
Gambar 1. Peta Kerawanan Banjir Kota Surakarta pada Periode Ulang 2 Tahun



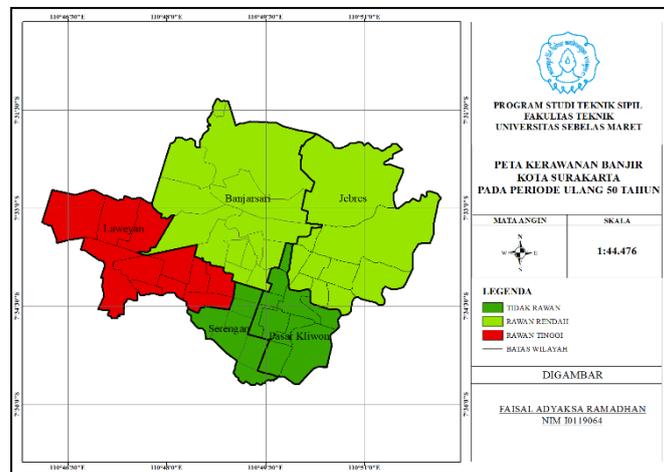
Gambar 2. Peta Kerawanan Banjir Kota Surakarta pada Periode Ulang 5 Tahun



Gambar 3. Peta Kerawanan Banjir Kota Surakarta pada Periode Ulang 10 Tahun



Gambar 4. Peta Kerawanan Banjir Kota Surakarta pada Periode Ulang 25 Tahun



Gambar 5. Peta Kerawanan Banjir Kota Surakarta pada Periode Ulang 50 Tahun

#### 4. KESIMPULAN

1. Nilai debit banjir maksimum  $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{25}$ , dan  $Q_{50}$  pada sungai di Wilayah Kota Surakarta pada periode ulang 2 tahun ( $Q_2$ ) adalah sebesar 57,5 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Anyar, 15,9 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Gajah Putih, 8,7 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Boro, 6,7 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Jenes, 62,1 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pepe Hilir, 22,9 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pelem Wulung, 2,1 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Brojo. Untuk periode ulang 5 tahun ( $Q_5$ ) adalah sebesar 53,3 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Anyar, 16,9 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Gajah Putih, 15,4 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Boro, 7,1 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Jenes, 75,5 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pepe Hilir, 29,4 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pelem Wulung, 3,8 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Brojo. Untuk periode ulang 10 tahun ( $Q_{10}$ ) adalah sebesar 62,1 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Anyar, 18,6 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Gajah Putih, 17,0 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Boro, 7,8 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Jenes, 83,2 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pepe Hilir, 32,4 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pelem Wulung, 4,2 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Brojo. Untuk periode ulang 25 tahun ( $Q_{25}$ ) adalah sebesar 73,6 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Anyar, 20,8 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Gajah Putih, 19,0 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Boro, 8,7 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Jenes, 93,0 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pepe Hilir, 36,3 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pelem Wulung, 4,7 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Brojo. Untuk periode ulang 50 tahun ( $Q_{50}$ ) adalah sebesar 82,4 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Anyar, 22,4 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Gajah Putih, 20,5 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Boro, 9,4 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Kali Jenes, 100,3 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pepe Hilir, 39,1 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Pelem Wulung, 5,1 m<sup>3</sup> /det untuk Sungai Brojo.
2. Kategori kerawanan banjir pada setiap kecamatan yang ditinjau berdasarkan kedalaman banjir maksimum, kecepatan aliran banjir maksimum, dan luas genangan banjir pada periode ulang 2 tahun ( $Q_2$ ) adalah Kecamatan Pasar Kliwon memiliki tingkat kerawanan tidak rawan, Kecamatan Jebres memiliki tingkat kerawanan rendah, Kecamatan Laweyan memiliki tingkat kerawanan rawan sedang, Kecamatan Banjarsari memiliki tingkat

kerawanan tidak rawan, dan Kecamatan Serengan memiliki tingkat kerawanan tidak rawan. Pada periode ulang 5 tahun ( $Q_5$ ) adalah Kecamatan Pasar Kliwon memiliki tingkat kerawanan tidak rawan, Kecamatan Jebres memiliki tingkat kerawanan rendah, Kecamatan Laweyan memiliki tingkat kerawanan rawan tinggi, Kecamatan Banjarsari memiliki tingkat kerawanan rendah, dan Kecamatan Serengan memiliki tingkat kerawanan rawan tidak rawan. Pada periode ulang 10 tahun ( $Q_{10}$ ) adalah Kecamatan Pasar Kliwon memiliki tingkat kerawanan tidak rawan, Kecamatan Jebres memiliki tingkat kerawanan rendah, Kecamatan Laweyan memiliki tingkat kerawanan tinggi, Kecamatan Banjarsari memiliki tingkat kerawanan rendah, dan Kecamatan Serengan memiliki tingkat kerawanan tidak rawan. Pada periode ulang 25 tahun ( $Q_{25}$ ) adalah Kecamatan Pasar Kliwon memiliki tingkat kerawanan tidak rawan, Kecamatan Jebres memiliki tingkat kerawanan rendah, Kecamatan Laweyan memiliki tingkat kerawanan tinggi, Kecamatan Banjarsari memiliki tingkat kerawanan rawan rendah, dan Kecamatan Serengan memiliki tingkat kerawanan tidak rawan. Pada periode ulang 50 tahun ( $Q_{50}$ ) adalah Kecamatan Pasar Kliwon memiliki tingkat kerawanan tidak rawan, Kecamatan Jebres memiliki tingkat kerawanan rendah, Kecamatan Laweyan memiliki tingkat kerawanan rawan tinggi, Kecamatan Banjarsari memiliki tingkat kerawanan rendah, dan Kecamatan Serengan memiliki tingkat kerawanan tidak rawan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aliyansyah, A. M. (2017). Analisis Hidrolika Aliran Sungai Bolifar Dengan Menggunakan HEC-RAS. In *Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Universitas ...* digilib.unhas.ac.id. [http://digilib.unhas.ac.id/uploaded\\_files/temporary/DigitalCollection/Mzc5ZTQ4OTdmZWVhYTg2MGE0NjJhZWm4NTI5MzhhMWFhYWVwODg5MQ==.pdf](http://digilib.unhas.ac.id/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/Mzc5ZTQ4OTdmZWVhYTg2MGE0NjJhZWm4NTI5MzhhMWFhYWVwODg5MQ==.pdf)
- Hamdikatama, B. (2020). Pemetaan Daerah Rawan Banjir di Kota Surakarta Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Indonesian Journal of Networking and Security (IJNS)*. <http://ijns.org/journal/index.php/ijns/article/view/1616>
- Isa, M., Sumarauw, J. S. F., & Hendratta, L. A. (2020). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Marisa Kecamatan Limboto Barat Kabupaten Gorontalo. *Jurnal Sipil Statik*. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/29979>
- Jarwanti, D. P., Suhartanto, E., & Fidari, J. S. (2021). *Validasi Data Curah Hujan Satelit TRMM ( Tropical Rainfall Measuring Mission ) dengan Data Pos Penakar Hujan di DAS Grindulu , Kabupaten Pacitan , Jawa Timur*. 1(2), 772–785.
- Kereh, I. E., Binilang, A., & Sumarauw, J. S. F. (2018). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Palaus di Kelurahan Lowu I Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/19353>
- Matondang, M. A., Mulia, A. P., & ... (2022). Analisa Area Genangan Banjir Sungai Babura Berbasis Hec-Ras dan Gis. *Jurnal Syntax* .... <https://journalsyntaxadmiration.com/index.php/jurnal/article/view/381>
- Nadia, K., Mananoma, T., & Tangkudung, H. (2019). Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Tembran di Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/23875>
- Nugroho, E. (2021). *Analisa Pola Operasional Pada Bendung Gerak Kanal Banjir Barat di Kota Semarang*. repository.unissula.ac.id. [http://repository.unissula.ac.id/22224/11/20201700061\\_fulltext.pdf](http://repository.unissula.ac.id/22224/11/20201700061_fulltext.pdf)
- Pangemanan, R., Supit, C. J., & ... (2020). Prediksi Banjir di Sungai Ranawongko Kota Tomohon. *Jurnal Sipil Statik*. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/38890>
- Pangestu, L. (2016). *Analisis Backwater Di Sekitar Titik Pertemuan Kali Anyar Surakarta Dengan Sungai Bengawan Solo*. digilib.uns.ac.id. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/54027/MjMzOTY2/Analisis-Backwater-Di-Sekitar-Titik-Pertemuan-Kali-Anyar-Surakarta-Dengan-Sungai-Bengawan-Solo-Cover.pdf>
- Ramadhan, R. A., Salim, N., & ... (2022). Analisis Dan Evaluasi Kapasitas Penampang Sungai Dengan Solusi Penanganannya Pada Sungai Bedadung Di Kabupaten Jember. *Jurnal Smart* .... <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST/article/view/8486>
- Sihotang, L. T. (2016). Analisa Kapasitas Pengendalian Banjir dengan Perbandingan Metode HSS, HECHMS DAN HEC-RAS di Daerah Aliran Sungai 2 1 Sei .... In *Jurnal Teknik Sipil USU*. download.garuda.kemdikbud.go.id.
- Siswanto, S., Suprpto, S., & Huda, A. L. (2019). Pendekatan GIS dalam Pemodelan Keruntuhan Bendungan Menggunakan HEC-RAS 2D (Studi Kasus Bendungan Logung, Kabupaten Kudus). *Rekayasa*.

<https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa/article/view/5807>

Sitanggang, Suprayogi, T. (2018). *Pemodelan Hujan-Debit Pada Sub Daerah Aliran Sungai Menggunakan Program Bantu HEC-HMS (Studi Kasus Pada Kanal Duri)*. 14, 63–65.  
<https://doi.org/10.15900/j.cnki.zylf1995.2018.02.001>

SNI 2415:2016. (2016). *Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. *Badan Standar Nasional*.

Soemarto, C. D., 1986. *Hidrologi Teknik*. Erlangga. Jakarta.

Soewarno. 1995. *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Penerbit Nova. Bandung.

Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Penerbit Andi, Yogyakarta

Triatmodjo, Bambang. 2009. *Hidrologi Terapan Cetakan Kedua*. Yogyakarta: Beta Offset

Triatmodjo, Bambang. 1992. *Metode Numerik*. Yogyakarta: Beta Offset

Utomo, E. S., Hadiani, R. R. R., & Suryandari, E. S. (2019). *Analisis Banjir Dan Pemetaan Kawasan Terdampak Banjir Di Kelurahan Laweyan, Kota Surakarta*. *Matriks Teknik Sipil*, 7(3).  
<https://doi.org/10.20961/mateksi.v7i3.36489>

Wigati, R., & Soedarsono, S. (2016). *Analisis Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 4.1. 0 (Studi Kasus Sub DAS Ciberang HM 0+ 00-HM 34+ 00)*. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*.  
<http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jft/article/view/1261>