

ANALISIS DEBIT BANJIR RANCANGAN DENGAN METODE HIDROGRAF SATUAN SINTETIS NAKAYASU DI SUB DAS KEDUANG

(Analysis of planned flood discharge using the Nakayasu synthetic unit hydrograph in Keduang Sub Watershed)

Esa Bagus Nugrahanto^{1,2}, Slamet Suprayogi¹, Mohammad Pramono Hadi¹, Rissa Rahmadwiati³

¹Program Studi MPPDAS Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281

²Balai Penerapan Standar Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan Solo, Jalan Jend. A. Yani Pabelan PO BOX 295 Surakarta 57102

³Program Studi Pengelolaan Hutan Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret, Jalan Ir. Sutami No 36A Surakarta 57126
Email: nugrahantoesa@gmail.com

Diterima: 23 Juni 2022, Direvisi : 31 Agustus 2022, Disetujui : 2 September 2022

ABSTRACT

Keduang Sub Watershed was an area prone to flooding. This happens because of the varied land cover followed by low forest cover. This circumstance leads to an increase in runoff which has the potential to become flooded. This study aims to analyze the planned flood discharge in the Keduang Sub Watershed with several return periods. The study was conducted using secondary data analysis in 2007-2018. Rainfall analysis was performed by several methods, namely normal method, normal log, pearson III log, and gumbel and tested with chi square and kolmogorov smirnov tests. Planned flood discharge analysis was using the Nakayasu synthetic unit hydrograph method. Results showed that the rainfall analysis chosen is normal method. The planned flood discharge obtained that the maximum discharge of the 2-yearly return period was 1,375.20 m³/s, the 5-yearly return period was 1,724.92 m³/s, the 10-yearly return period was 1,908.10 m³/s, the 20-yearly return period was 2,057.97 m³/s, the 25-yearly return period was 2,087 m³/s, the 50-yearly return period of 2,228.67 m³/s, the 100-yearly return period of 2,345.24 m³/s, and the 1000-yearly return period of 2,661.64 m³/s. Flood discharges are increasing in the larger return period, and the largest flood discharge occurred in the 1000-yearly return period. The results of this study are expected to be used in watershed planning and management for flood disaster mitigation in Keduang Sub Watershed.

Keywords: *planned flood discharge, synthetic unit hydrograph, nakayasu, frequency analysis, Keduang Sub Watershed*

ABSTRAK

Sub DAS Keduang merupakan daerah yang rawan terjadi bencana banjir. Hal ini terjadi karena tutupan lahan yang variatif diikuti dengan tutupan hutan yang rendah. Keadaan ini menyebabkan peningkatan air limpasan yang berpotensi menjadi banjir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit banjir rancangan di Sub DAS Keduang dengan beberapa periode ulang. Penelitian dilakukan dengan analisis data sekunder tahun 2007-2018. Analisis curah hujan dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode normal, log normal, *log pearson III*, dan *gumbel* serta diuji dengan *uji chi square* dan *kolmogorov smirnov*. Analisis debit banjir rancangan menggunakan metode HSS Nakayasu. Hasil penelitian diperoleh bahwa analisis curah hujan yang dipilih adalah metode normal. Debit banjir rancangan diperoleh bahwa debit maksimum periode ulang 2 tahunan adalah 1.375,20 m³/detik, periode ulang 5 tahunan sebesar 1.724,92 m³/detik, periode ulang 10 tahunan 1.908,10 m³/detik, periode ulang 20 tahunan 2.057,97 m³/detik, periode ulang 25 tahunan 2.087,12 m³/detik, periode ulang 50 tahunan 2.228,67 m³/detik, periode ulang 100 tahunan 2.345,24 m³/detik, dan periode ulang 1000 tahunan sebesar 2.661,64 m³/detik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan dalam perencanaan dan pengelolaan DAS untuk mitigasi bencana banjir di Sub DAS Keduang.

Kata kunci: debit banjir rancangan, hidrograf satuan sintetis, nakayasu, analisis frekuensi, Sub DAS Keduang

I. PENDAHULUAN

Bencana banjir termasuk salah satu bencana yang umum terjadi di dunia maupun di Indonesia. Banjir merupakan salah satu bencana alam dengan frekuensi tinggi di negara tropis (Ávila *et al.*, 2015). Banjir dapat terjadi karena hilangnya fungsi hutan yang berperan dalam meresapkan air hujan ke dalam tanah. Perubahan penggunaan lahan hutan menjadi non hutan menurunkan kapasitas infiltrasi dan meningkatkan air limpasan (Anwar *et al.*, 2011). Banjir merupakan bencana yang merugikan, baik dari aspek lingkungan maupun ekonomi. Selain tanah longsor, banjir merupakan fenomena alam yang mempengaruhi orang-orang di seluruh dunia dan sering menyebabkan kerusakan harta benda dan hilangnya nyawa (Joshi *et*

al., 2015). Upaya mitigasi diperlukan untuk meminimalisir kerugian yang dapat ditimbulkan oleh bencana banjir.

Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Keduang merupakan daerah yang memiliki tutupan lahan yang variatif, namun termasuk daerah dengan tutupan hutan yang sedikit. Sebagian besar wilayah Sub DAS Keduang merupakan pertanian lahan kering. Berdasarkan penelitian Muttaqin (2022) tutupan hutan Sub DAS Keduang pada tahun 2020 hanya sebesar 6,7% dengan luas lahan pertanian mencapai 71% berupa sawah, tegalan, dan kebun campuran. Minimnya area Sub DAS Keduang yang berhutan memberikan potensi terjadinya bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor. Apalagi Sub DAS Keduang

termasuk daerah yang memberikan pasokan air saat terjadinya bencana banjir Sungai Bengawan Solo. Sub DAS Keduang merupakan bagian hulu DAS Bengawan Solo yang rawan terjadi banjir. Dalam penelitiannya, Anna *et al.* (2015) mengemukakan bahwa Sub DAS Keduang merupakan hulu DAS Bengawan Solo yang sangat rentan terhadap bencana banjir. Sub DAS Keduang termasuk kritis, hal ini ditandai dengan banjir yang terjadi akibat berkurangnya daerah resapan air yang dikarenakan tutupan lahan berupa tanaman keras hanya tersisa kurang dari 10% selebihnya menjadi ladang (Baniva, 2013). Perubahan fungsi dari lahan terbuka menjadi lahan terbangun mempengaruhi aliran permukaan. Konversi dari lahan terbuka ke lahan terbangun berpotensi banjir karena air hujan cenderung tidak meresap ke dalam tanah dan menyebabkan limpasan permukaan. Perubahan penggunaan lahan hutan mengurangi kapasitas infiltrasi dan meningkatkan limpasan (Anwar *et al.*, 2011).

Untuk mendapatkan gambaran kemungkinan debit banjir pada banjir yang diakibatkan oleh luapan sungai, maka diperlukan analisis dengan menggunakan data banjir tahunan terbesar atau curah hujan tahunan terbesar yang pernah terjadi. Menurut Zamhari *et al.* (2020), ada dua metode untuk mendapatkan debit banjir rancangan, yaitu metode hidrograf dan non hidrograf. Hidrograf satuan diperkenalkan pada tahun 1932 oleh Sherman (Subramanya, 1994). Hidrograf satuan adalah hidrograf aliran langsung yang terekam di hilir DAS dan diinduksi oleh hujan efektif 1 mm yang jatuh merata

di permukaan DAS pada intensitas tertentu dalam jangka waktu tertentu. Data yang digunakan untuk membuat hidrograf satuan terukur di DAS adalah data hujan otomatis dan pencatatan debit di titik pengamatan tertentu (Natakusumah, Hatmoko, & Harlan, 2011). Namun jika data debit tidak tersedia, maka dapat menggunakan analisis hidrograf satuan sintesis (HSS). HSS merupakan metode untuk memperkirakan hidrograf satuan dalam suatu perencanaan yang data pengukuran langsung mengenai hidrograf banjir tidak tersedia (Siby, Kawet, & Halim, 2013). HSS memiliki keuntungan yaitu dapat digunakan dengan data curah hujan harian dan parameter-parameter DAS tanpa menggunakan data debit terukur.

Penelitian ini memanfaatkan HSS Nakayasu untuk analisis debit rancangan. Debit banjir rancangan adalah debit maksimum suatu sungai atau saluran alami dengan periode ulang yang telah ditentukan. Debit banjir rancangan ditentukan dengan analisis debit puncak dan biasanya dihitung berdasarkan pengamatan ketinggian air harian. Informasi mengenai debit rancangan diperlukan untuk perencanaan mitigasi bencana banjir (Gunawan, Besperi, & Purnama, 2020). HSS Nakayasu sering digunakan untuk analisis debit rancangan di Jawa (Saputra *et al.*, 2021).

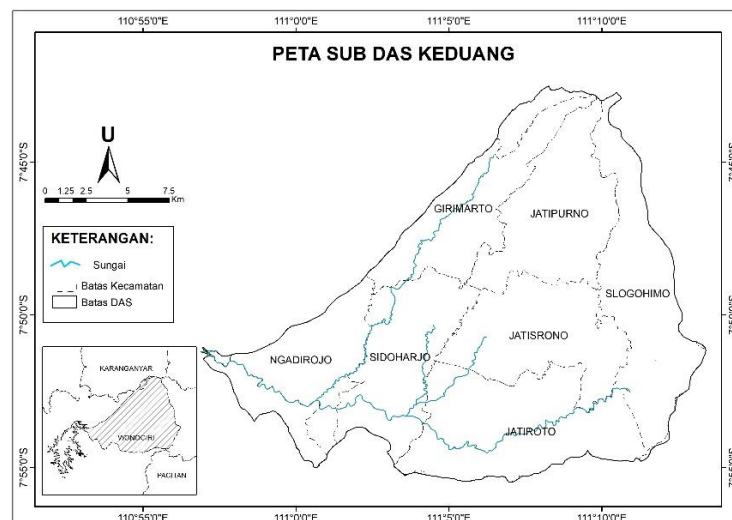
HSS Nakayasu digunakan karena dapat diaplikasikan dengan menggunakan data luas DAS dan panjang sungai utama dengan hasil yang cukup memuaskan. Penelitian Pratomo, Sobriyah, & Wahyudi (2014) mengungkapkan kalibrasi waktu puncak HSS Nakayasu di Sub DAS Keduang paling mendekati hidrograf terukur. Wigati *et al.*

(2016) juga menggunakan hidrograf satuan sintetis sebagai data input model HEC-RAS. Wigati *et al.* (2016) juga menyatakan bahwa hidrograf satuan sintetis umum digunakan sebagai metode menghitung debit banjir. Penelitian serupa pernah dilakukan oleh Rahayu, Suyanto, & Solichin (2017) yang menggunakan HSS Nakayasu sebagai input data untuk penelitian mengenai evaluasi fungsi bangunan pengendali sedimen (*Check Dam*). Hanya saja, input data curah hujan tidak dijelaskan secara detail dalam tulisan tersebut. Penelitian ini memberikan gambaran yang lebih detail mengenai penggunaan HSS Nakayasu untuk analisis debit rancangan dengan data curah hujan yang tersedia di sekitar Sub DAS Keduang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit banjir rancangan di Sub DAS Keduang dengan beberapa periode ulang sehingga diharapkan dapat memberikan manfaat untuk perencanaan pengelolaan DAS dalam memitigasi bencana banjir.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan pada bulan Juni tahun 2022 di Sub DAS Keduang yang terletak pada Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah. Letak geografis lokasi penelitian berada pada 110°56'54" BT-111°13'23" BT dan 7°42'31" LS-7°55'32" LS. Sub DAS Keduang memiliki wilayah seluas ± 39.000 ha dengan topografi yang beragam. Elevasi Sub DAS Keduang berkisar antara 139-1.601 mdpl dengan kemiringan lahan rata-rata 34,7% (Sutrisno, Sanim, Saefuddin, & Sitorus, 2011). Sub DAS Keduang memiliki jenis tanah antara lain: Litosol, Latosol Cokelat Kemerahan, Komplek Andosol Cokelat dan Andosol Kekuningan, Asosiasi Mediteran Cokelat Kemerahan dan Mediteran Cokelat, dan Asosiasi Litosol dan Mediteran Cokelat (Analisis peta jenis tanah BPN Kanwil Jawa Tengah). Curah hujan tahunan Sub DAS Keduang 800-2900 mm dengan kelembaban antara 70-90% (JICA, 2007).



Gambar (Figure) 1. Peta lokasi penelitian di Sub DAS Keduang Kabupaten Wonogiri (*Map of research locations in Keduang Sub Watershed of Wonogiri Regency*)

Sumber (Source): Peta Rupa Bumi Indonesia (Indonesian Topographical Maps) 2022

B. Bahan dan Alat

Bahan yang apat digunakan untuk analisis debit banjir rancangan tersebut antara lain: 1) Data DEM (*Digital Elevation Model*) yang diperoleh dari DEMNAS; 2) Data curah hujan harian Sub DAS Keduang tahun 2007-2018. Data curah hujan diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo. Alat yang digunakan meliputi alat tulis, peralatan untuk pengamatan hujan dengan penakar hujan, seperangkat komputer, perangkat lunak ArcGIS, GPS, kamera digital.

C. Metode Penelitian

Penentuan hujan rancangan dilakukan dengan cara statistik yaitu dengan analisis frekuensi. Analisis frekuensi dimaksudkan untuk mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Analisis frekuensi dilakukan dengan beberapa jenis sebaran, seperti Normal, Log-Normal, *Log-Pearson* III, dan *Gumbel*. Data input yang diperlukan adalah data curah hujan tahun 2007-2018 dari pos pengamatan yang tersedia di dalam dan di sekitar Sub DAS Keduang. Pos Pengamatan yang digunakan meliputi Pos Pengamatan Keduang, Purwantoro, Tawangmangu, Batuwarno, Wonogiri, Jatisrono, dan Jatipuro. Pos pengamatan tersebut diharapkan dapat mewakili data curah hujan wilayah di Sub DAS Keduang. Indarto (2018) menyatakan bahwa semakin banyak alat pengukur hujan yang dipasang akan meningkatkan keterwakilan dan variasi hujan wilayah. Data curah hujan tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode Poligon Thiessen dengan perangkat lunak ArcGIS untuk mendapatkan hujan wilayah.

Perhitungan hujan wilayah dilakukan dengan polygon Thiessen dengan basis interpolasi nilai curah hujan antara beberapa stasiun curah hujan (Ajr & Dwirani, 2019).

Data hujan tersebut kemudian dilakukan analisis distribusi curah hujan. Analisis ini dimaksudkan untuk memperoleh data hujan maksimum periode ulang tertentu berdasarkan data curah hujan 10 tahun. Analisis distribusi curah hujan dilakukan dengan menggunakan data curah hujan maksimum dengan kemungkinan periode ulang tertentu (Sihotang, Hazmi, & Rahmawati, 2019). Lubis (2016) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa analisis distribusi curah hujan umum dilakukan dengan metode normal, log-normal, *log-pearson* III, dan *gumbel*.

1. Analisis Frekuensi

a. Distribusi normal

Analisis hidrologi menggunakan distribusi normal untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik distribusi curah hujan tahunan, dan rata-rata debit tahunan. Distribusi normal atau kurva normal disebut juga distribusi Gaussian. Rumus yang digunakan dalam perhitungan menurut Soemarto (1995) adalah sebagai berikut:

$$X_t = X_i + KT.S \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

X_t = Curah hujan rencana (mm/hari)

X_i = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

KT = Faktor frekuensi

$$S = \text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (X - X_i)^2}$$

b. Distribusi log-normal

Distribusi log-normal adalah hasil dari transformasi distribusi normal dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritma varian X. Soemarto (1995) menggunakan rumus sebagai berikut untuk menghitung metode ini:

$$\text{Log } X_t = \text{Log } X_i + \text{KT} \cdot \text{Log } S \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- X_t = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari) $= 10^{(\text{Log } X_t)}$
- X_i = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)
- KT = Faktor frekuensi
- S = Standar deviasi

c. Distribusi log-pearson III

Distribusi *Log-Pearson* III digunakan dalam analisis hidrologi. Hal ini terutama digunakan untuk menganalisis data maksimal (debit banjir) dan minimum (debit minimum). Bentuk distribusi *Log-Pearson* III merupakan hasil transformasi dari distribusi *Pearson Tipe* III dengan mengganti *varians* dengan logaritma (Soemarto, 1995).

$$\text{Log } X_t = \text{Log } X_i + \text{KT} \cdot \text{Log } S \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- X_t = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari) $= 10^{(\text{Log } X_t)}$
- X_i = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)
- KT = Faktor frekuensi
- S = Standar deviasi

d. Distribusi gumbel

Metode *gumbel* banyak digunakan untuk analisis data maksimum, seperti penggunaan pada analisis frekuensi banjir.

Persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah (Soemarto, 1995):

$$X_t = X_i + \text{KT} \cdot S \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- X_t = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari)
- X_i = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)
- S = Standar deviasi
- KT = Faktor frekuensi $= \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$
- Y_t = Reduce variate
- Y_n = Reduce mean
- S_n = Reduce standar deviasi

2. Uji distribusi probabilitas

Uji distribusi probabilitas dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data analisis. Pengujian distribusi probabilitas dilakukan dengan metode Metode *Chi – square* (χ^2). Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode uji *Chi – square* menurut Soemarto (1995) adalah sebagai berikut

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (5)$$

Dalam kebanyakan kasus, urutan aktual yang diharapkan atau tingkat kepercayaan spesifik (α) adalah 5%. Derajat kebebasan (Dk) dihitung dengan rumus:

$$Dk = K - (p + 1) \dots\dots\dots (6)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n \dots\dots\dots (7)$$

Selanjutnya, nilai distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis, atau dirumuskan sebagai berikut.

$$\chi^2 < \chi^2_{cr} \dots\dots\dots (8)$$

3. Hidrograf satuan sintetis nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu yang dikembangkan oleh Dr. Nakayasu pada tahun 1940 dirumuskan dengan persamaan dan tahapan perhitungan sebagai berikut (Natakusumah *et al.*, 2011; Saputra & Saputri, 2021):

a. Data yang diperlukan meliputi: curah hujan (R_{24}) (mm), panjang sungai (L) (km), luas DAS (A)(km^2).

b. Curah hujan efektif tiap jam, rata-rata hujan dari awal hingga jam ke-T

$$R_t = \frac{R_{24}}{t} \times \left(\frac{t}{T}\right)^{2/3} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

R_t = Intensitas curah hujan untuk lama hujan T (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

T = lamanya curah hujan (jam)

c. Rasio curah hujan jam-jaman

Debit rencana memerlukan sebaran hujan jam-jaman sebagai data analisis. Hujan jam-jaman diperoleh melalui Rumus Mononobe. Rumus Mononobe dapat digunakan jika data curah hujan jangka pendek tidak tersedia. Rumus Mononobe umum digunakan untuk perhitungan intensitas curah hujan jam-jaman (Rahmani, Wahyudi, & Sobriyah, 2016). Hujan jam-jaman ini digunakan untuk pengalihragaman hujan menjadi debit aliran. Perhitungan hujan jam-jaman dihitung dengan rata-rata lama hujan di Indonesia adalah 6 jam (Saputra & Saputri, 2021). Hujan jam-jaman selama 6 jam tersebut merupakan distribusi besaran

intensitas curah hujan tiap jam pada rentang waktu 6 jam.

$$R_t = (t \times R_t) - ((t-1) \times (R_{t-1})) \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

R_t = Rasio curah hujan jam ke T (%)

T = Waktu (jam)

R_t = Rerata hujan dari awal sampai jam ke T (mm/jam)

d. Hujan efektif

$$R_e = C \times R_T \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

R_e = Hujan efektif

C = Koefisien limpasan

R_T = Intensitas curah hujan (mm/jam)

e. Menentukan T_p , $T_{0.3}$ dan Q_p

$$T_p = T_g + 0,8 \cdot T_r \dots\dots\dots (12)$$

$$T_r = 0,5 T_g \text{ s/d } T_g \dots\dots\dots (13)$$

$$T_g = 0,4 + 0,058 \cdot L, \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots (14)$$

$$T_g = 0,21 \cdot L^{0,7}, \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \dots\dots\dots (15)$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g, \alpha = 1,5 - 3 \dots\dots\dots (16)$$

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots (17)$$

$$T_b = T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3} + 2 T_{0,3} \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan:

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/s)

C = Koefisien limpasan

A = Luas DAS (km^2)

R_o = Hujan satuan ; 1 mm

T_p = Waktu puncak (jam)

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

T_r = Satuan waktu hujan

T_g = Waktu konsentrasi (jam), ditentukan berdasarkan L

T_b = Time base

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Curah Hujan

Pada penelitian ini data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan harian maksimum, yaitu dari tahun 2007 sampai dengan tahun 2018. Hasil analisis hujan wilayah *Thiessen* disajikan pada Tabel 1.

Data pada Tabel 1 merupakan hujan harian tertinggi yang terjadi pada tahun-tahun tersebut. Curah hujan maksimum harian tertinggi terjadi pada tahun 2017,

yaitu 188,12 mm. Data tersebut dianalisis distribusi curah hujan dan hasil analisisnya dengan beberapa periode ulang tersebut ditampilkan dalam Tabel 2.

Hasil pada Tabel 2 tersebut menyatakan bahwa curah hujan telah terdistribusi menjadi 8 periode ulang dengan metode Normal, Log-Normal, *Log-Pearson* III, dan *Gumbel*. Selanjutnya dilakukan uji *chi square* dan *Kolmogorov smirnov* untuk memperoleh metode yang mewakili sebaran data curah hujan.

Tabel (Table) 1. Curah hujan harian maksimum wilayah Sub DAS Keduang (*Maximum daily rainfall of Keduang Sub Watershed*)

Tahun (Year)	Curah Hujan Maksimum (<i>Maximum rainfall</i>) (mm)
2007	169,77
2008	108,21
2009	124,09
2010	128,36
2011	79,76
2012	86,03
2013	81,09
2014	121,01
2015	98,03
2016	132,30
2017	188,12
2018	80,56

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2018

Tabel (Table) 2. Hasil analisis distribusi curah hujan (*The result of the rainfall distribution analysis*)

Periode (<i>Periods</i>)	Metode (<i>Method</i>)			
	Normal	Log-Normal	<i>Log-Pearson</i> III	<i>Gumbel</i>
2	116,44	116,44	116,44	111,53
5	146,06	148,49	148,49	152,17
10	161,57	168,66	168,66	179,07
20	174,26	187,18	187,18	204,88
25	176,72	191,01	191,01	213,06
50	188,71	210,76	210,76	238,28
100	198,58	228,56	228,56	263,31
1000	225,37	284,79	284,79	346,02

Sumber (Source): Analisis data (*Data analysis*), 2022

Tabel (Table) 3. Hasil uji chi square dan kolmogorov smirnov (The result of chi square and kolmogorov smirnov tests)

Metode (Method)	Normal	Log Normal	Gumbel	Log Pearson III
Chi Square hitung (Counted chi square) (X^2)	2,17	1,33	0,50	2,17
Chi Square kritis (Critical chi square) (X^2_{Cr})	5,99	5,99	5,99	5,99
K Smirnov hitung (Counted K smirnov) (ΔP Max)	0,11	0,16	13,33	0,91
K Smirnov kritis (Critical K smirnov) (ΔP Kritis)	0,38	0,38	0,38	0,38

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2022

Tabel (Table) 4. Perhitungan hujan jam-jaman (Calculated hourly rainfall)

Hujan rata-rata t=6 jam (Average rainfall t=6 hours)		Rasio hujan jam-jaman (Hourly rainfall ratio)	
Jam (Hour)	RT		Rt (%)
1	0,55	R24	55,03
2	0,35	R24	14,30
3	0,26	R24	10,03
4	0,22	R24	7,99
5	0,19	R24	6,75
6	0,17	R24	5,90

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2022

Uji dilakukan dengan jumlah data 12 dengan tingkat signifikansi 5%. Uji *chi square* diterima jika nilai *chi square* hitung lebih kecil dari *chi square* kritis. Dari Tabel 3 diperoleh jika nilai *chi square* hitung dari semua metode lebih kecil dari *chi square* kritis, maka semua metode diterima atau dapat digunakan. Selanjutnya adalah melihat hasil uji *kolmogorov smirnov*. Uji *kolmogorov smirnov* diterima jika nilai hitung yang paling kecil dan lebih kecil dari nilai kritis. Dari Tabel 3 diperoleh bahwa metode yang diterima adalah metode normal dengan nilai hitung 0,11 dan metode log-normal dengan nilai hitung 0,16. Metode yang digunakan adalah metode normal karena memenuhi syarat nilai hitung yang lebih kecil dari nilai kritis dan merupakan nilai hitung yang terkecil dari metode yang diterima.

Menurut Thessalonika, Handayani, & Fauzi (2018), dalam perhitungan banjir

rancangan diperlukan masukan data berupa hujan rencana yang didistribusikan kedalam hujan jam-jaman. Untuk dapat mengubah hujan rencana ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan terlebih dahulu suatu pola distribusi hujan jam-jaman. Hasil perhitungan hujan jam-jaman disajikan pada Tabel 4.

Rasio hujan jam-jaman menerangkan persentase curah hujan yang terjadi pada tiap jamnya. Pada hujan selama 6 jam, curah hujan pada jam pertama sebesar 55,03% dan akan menurun hingga hujan selesai setelah jam ke-enam. Rasio hujan jam-jaman dari Tabel 4 digunakan untuk menghitung curah hujan efektif. Selain rasio hujan jam-jaman, perhitungan curah hujan efektif memerlukan data hasil analisis distribusi metode normal dari Tabel 2 dan koefisien aliran (C) dari Sub DAS Keduang. Nilai koefisien aliran pada penelitian ini menggunakan hasil penelitian

terdahulu. Koefisien aliran rata-rata tertimbang di Sub DAS Keduang adalah sebesar 0,77 (Murtiono, 2008). Hasil perhitungan curah hujan efektif dapat dilihat di Tabel 5.

Tabel 5 menjabarkan mengenai curah hujan efektif yang terjadi pada setiap jam. Probabilitas hujan maksimum metode normal pada Tabel 2 yang telah dikalikan dengan koefisien aliran, diuraikan berdasarkan rasio hujan jam-jaman dari Tabel 4.

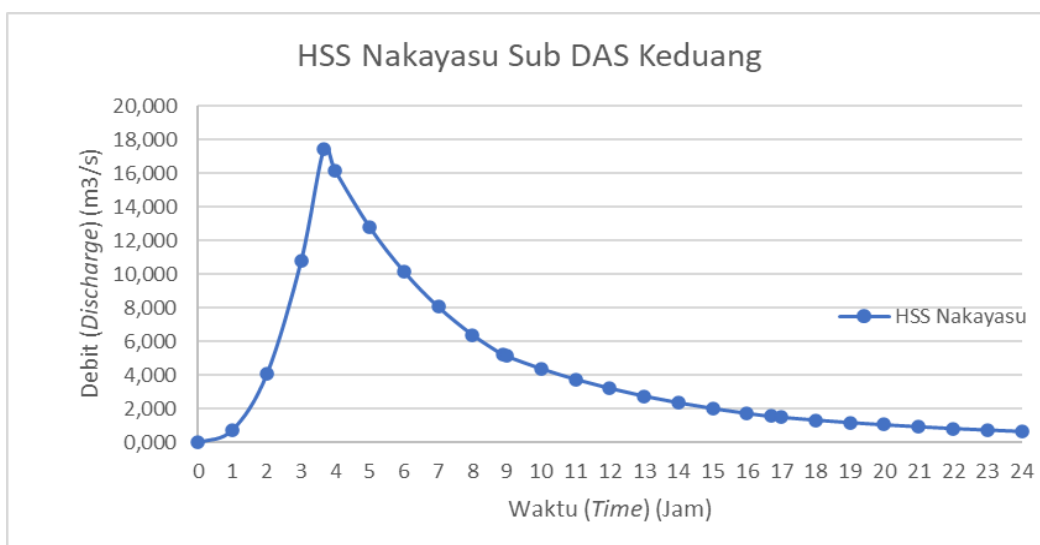
B. Analisis HSS Nakayasu

Analisis HSS Nakayasu dilakukan dengan membuat ordinat hidrograf terlebih dahulu berdasarkan data dari Sub DAS Keduang. Data yang diketahui berdasarkan analisis data DEM diperoleh luas (A)=397 Km²; panjang sungai utama (L)=38,19 Km; Koefisien aliran (C)=0,77; Parameter $\alpha=1,99$; Hujan satuan (Ro)=1mm; Tr=1,31 jam; Tp=3,66 jam; T03=5,22 jam; Qp=17,47 m³/detik. Berdasarkan data tersebut, diperoleh hidrograf sintetik Nakayasu seperti pada Gambar 2.

Tabel (Table) 5. Hasil perhitungan curah hujan efektif (Effective rainfall calculation)

Jam ke- (Hour to-)	Rasio (Ratio) (%)	Kumulatif (Cumulative)	Curah hujan efektif periode ulang (Return period of effective rainfall) (Re)							
			2	5	10	20	25	50	100	1000
1	55,03	55,03	49,60	62,21	68,82	74,22	75,28	80,38	84,58	96,00
2	14,30	69,34	12,89	16,17	17,89	19,29	19,57	20,89	21,99	24,95
3	10,03	79,37	9,04	11,34	12,55	13,53	13,72	14,66	15,42	17,50
4	7,99	87,36	7,20	9,03	9,99	10,77	10,93	11,67	12,28	13,93
5	6,75	94,10	6,08	7,63	8,44	9,10	9,23	9,85	10,37	11,77
6	5,90	100,00	5,31	6,67	7,37	7,95	8,07	8,61	9,06	10,29
Hujan Efektif (effective rainfall)			90,13	113,05	125,05	134,87	136,78	146,06	153,70	174,44
Koef Limpasan (Runoff coefficient)			0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
Probabilitas Hujan Maksimum (Max rainfall probability)			116,44	146,06	161,57	174,26	176,72	188,71	198,58	225,37

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2022



Gambar (Figure) 2. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph)

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2022

Dalam perhitungan HSS Nakayasu diperlukan luas DAS, panjang sungai utama, dan koefisien pengaliran. Luasan dan panjang sungai ditentukan berdasarkan peta topografi (Seran, Nasjono, & Ramang, 2020). Pada penelitian di Sub DAS Keduang ini, berdasarkan Gambar 2 dapat dinyatakan bahwa puncak debit perhitungan hidrograf menggunakan HSS Nakayasu adalah 17,47 m³/detik. Puncak debit tersebut dicapai pada waktu 3,66 jam. Setelah mencapai puncaknya,

debit akan menurun dan mulai melandai pada jam ke-12. HSS Nakayasu kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui besaran debit banjir pada beberapa periode ulang.

Analisis HSS Nakayasu untuk beberapa periode ulang dilakukan dengan mengalihragamkan data curah hujan efektif Tabel 5 dengan hidrograf pada Gambar 2. Rekapitulasi hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 6.

Tabel (Table) 6. Rekapitulasi debit banjir HSS Nakayasu pada beberapa periode ulang (Flood discharge summary of nakayasu synthetic unit hydrograph on some return periods)

Waktu (Time)	Debit Banjir Periode Ulang (Flood discharge return periods) (m ³ /detik) (m ³ /s)							
	2	5	10	20	25	50	100	1000
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	38,46	48,24	53,37	57,56	58,37	62,33	65,59	74,44
2,00	255,77	320,81	354,88	382,76	388,18	414,50	436,18	495,03
3,00	774,76	971,77	1.074,97	1.159,41	1.175,83	1.255,57	1.321,25	1.499,50
3,66	1.375,20	1.724,92	1.908,10	2.057,97	2.087,12	2.228,67	2.345,24	2.661,64
4,00	1.271,69	1.595,08	1.764,48	1.903,07	1.930,02	2.060,92	2.168,71	2.461,30
5,00	1.087,50	1.364,05	1.508,90	1.627,42	1.650,47	1.762,41	1.854,59	2.104,80
6,00	917,41	1.150,71	1.272,91	1.372,89	1.392,33	1.486,76	1.564,53	1.775,61
7,00	728,29	913,50	1.010,51	1.089,88	1.105,31	1.180,28	1.242,01	1.409,58
8,00	578,16	725,19	802,20	865,21	877,46	936,97	985,98	1.119,00
8,88	472,26	592,36	655,27	706,74	716,75	765,36	805,39	914,05
9,00	463,36	581,20	642,92	693,42	703,24	750,93	790,21	896,82
10,00	397,27	498,29	551,21	594,51	602,93	643,82	677,49	768,89
11,00	340,60	427,21	472,58	509,70	516,92	551,98	580,85	659,22
12,00	292,02	366,28	405,17	437,00	443,19	473,24	498,00	565,18
13,00	250,36	314,03	347,38	374,66	379,97	405,74	426,96	484,56
14,00	214,65	269,23	297,83	321,22	325,77	347,86	366,06	415,44
15,00	184,03	230,83	255,34	275,40	279,30	298,24	313,84	356,18
16,00	157,78	197,90	218,92	236,12	239,46	255,70	269,07	305,38
16,70	141,68	177,71	196,58	212,02	215,02	229,61	241,62	274,21
17,00	136,85	171,65	189,88	204,79	207,69	221,78	233,38	264,86
18,00	121,93	152,94	169,18	182,47	185,05	197,60	207,94	235,99
19,00	108,64	136,26	150,73	162,57	164,88	176,06	185,27	210,26
20,00	96,79	121,41	134,30	144,85	146,90	156,87	165,07	187,34
21,00	86,24	108,17	119,66	129,06	130,89	139,77	147,08	166,92
22,00	76,84	96,38	106,62	114,99	116,62	124,53	131,04	148,72
23,00	68,46	85,87	94,99	102,46	103,91	110,95	116,76	132,51
24,00	61,00	76,51	84,64	91,29	92,58	98,86	104,03	118,06
Q Maks	1.375,20	1.724,92	1.908,10	2.057,97	2.087,12	2.228,67	2.345,24	2.661,64

Sumber (Source): Analisis data (Data analysis), 2022

Berdasarkan Tabel 6 diperoleh bahwa debit maksimum periode ulang 2 tahunan adalah 1.375,20 m³/detik, periode ulang 5 tahunan sebesar 1.724,92 m³/detik, periode ulang 10 tahunan 1.908,10 m³/detik, periode ulang 20 tahunan 2.057,97 m³/detik, periode ulang 25 tahunan 2.087,12 m³/detik, periode ulang 50 tahunan 2.228,67 m³/detik, periode ulang 100 tahunan 2.345,24 m³/detik, dan periode ulang 1000 tahunan sebesar 2.661,64 m³/detik. Debit banjir semakin meningkat pada periode ulang yang lebih besar. Debit banjir terbesar terjadi pada periode ulang 1000 tahun. Peningkatan debit banjir pada periode ulang yang semakin besar sangat berkaitan erat dengan tren perubahan tutupan lahan yang terjadi. Perubahan tutupan lahan di Sub DAS Keduang pada tahun 2009-2020 mengalami peningkatan di area lahan terbangun dan lahan pertanian terbuka, namun luasan area hutan berkurang separuhnya (Muttaqin, 2022). Luas areal hutan di Sub DAS Keduang tahun 2020 hanya 2.661 ha.

C. Konsekuensi dan Rekomendasi

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu memberikan analisis debit banjir rancangan dengan waktu yang tetap dan debit yang semakin meningkat pada periode ulang yang semakin besar. Hidrograf yang terjadi di Sub DAS Keduang memiliki tipe banjir yang cepat tinggi dan lama surutnya. Hal ini dapat menjadi peringatan bagi masyarakat sekitar karena banjir akan mencapai puncak hanya membutuhkan waktu 3,66 jam. Apalagi tutupan lahan yang didominasi oleh lahan pertanian terbuka akan memberikan daya

permeabilitas terhadap air hujan yang lebih rendah dari tutupan hutan. Penelitian Wardhana, Yuni, & Kurnia (2018) menyebutkan bahwa lahan terbuka dengan permeabilitas yang rendah meningkatkan debit puncak yang terjadi. Selain itu, lahan terbuka yang tidak dikelola dengan baik berpotensi banjir bandang akibat longsor. Pengelolaan pada lahan kritis terutama pada bagian hulu sangat diperlukan untuk mitigasi bencana banjir. Pengelolaan secara mekanis maupun vegetatif dapat dilakukan untuk meningkatkan resapan air di daerah tangkapan air Sub DAS Keduang. Penggunaan HSS Nakayasu untuk analisis debit rancangan dapat digunakan sebagai dasar mitigasi bencana banjir karena mampu menggambarkan kejadian saat hujan, puncak banjir dan durasi banjir yang terjadi hingga debit surut kembali.

IV. KESIMPULAN

Debit banjir hasil analisis HSS Nakayasu tertinggi terjadi pada periode ulang 1000 tahun sebesar 2.661,64 m³/detik. Puncak debit banjir dicapai dalam waktu 3,66 jam. Data curah hujan yang dipakai setelah uji *Chi Square* dan uji *Kolmogorov Smirnov* adalah data distribusi curah hujan normal. HSS Nakayasu dapat digunakan untuk analisis mitigasi banjir di Sub DAS Keduang karena data curah hujan otomatis dan debit terukur di Sub DAS Keduang tidak tersedia. Penggunaan HSS Nakayasu memberikan gambaran mengenai siklus banjir dengan periode tertentu di Sub DAS Keduang. Analisis HSS Nakayasu ini diharapkan dapat digunakan dalam perencanaan dan pengelolaan DAS untuk mitigasi bencana banjir. Penelitian lanjutan

berupa model banjir dengan data geometri sungai perlu dilakukan untuk mengetahui daya tampung sungai dan potensi daerah rawan terkena banjir di Sub DAS Keduang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan cq. BPPSDM atas dukungan dana penelitian, BBWS Bengawan Solo atas data hidrologi yang telah diberikan, dosen pembimbing, rekan-rekan sejawat di BSILHK, BPPTDAS Surakarta, serta program studi MPPDAS Fakultas Geografi UGM.

KONTRIBUSI

EBN berkontribusi terhadap desain penelitian, pengolahan data dan penulisan manuskrip, SS dan MPH berkontribusi terhadap desain penelitian dan pembahasan, dan RR berkontribusi terhadap pengolahan data dan analisis statistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajr, E. Q., & Dwirani, F. (2019). Menentukan Stasiun Hujan Dan Curah Hujan Dengan Metode Polygon Thiessen Daerah Kabupaten Lebak. *Agustus*, 2(2), 139–146.
- Anna, A. N., Suharja, & Priyana, Y. (2015). Kajian biofisik lahan untuk penilaian kerentanan banjir di DAS Bengawan Solo Hulu. *University Research Colloquium 2015 Fakultas Geografi UMS*, 9–17.
- Anwar, M., Pawitan, H., Murtiaksono, K., & Jaya, I. N. S. (2011). *Respons Hidrologi Akibat Deforestasi di DAS Barito Hulu, Kalimantan Tengah Hydrological Response Due to Deforestation in Barito Hulu Watershed, Central*

Kalimantan. XVII(3), 119–126. Retrieved from <http://jurnal.ipb.ac.id/index.php/jmht/article/view/3985/2724>

- Baniva, R. (2013). *Simulasi pengaruh tata guna lahan terhadap debit banjir di DAS Keduang*. UNS (Sebelas Maret University).
- Gunawan, G. G., Besperi, B., & Purnama, L. (2020). Analisis Debit Banjir Rancangan Sub DAS Air Bengkulu Menggunakan Analisis Frekuensi dan Metode Distribusi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 17(1), 1–9.
- Indarto, I. (2018). *Hidrologi Dasar Teori Dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. In Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- JICA. (2007). *Studi Penanganan Sedimentasi Waduk Serbaguna Wonogiri. Laporan Akhir Sementara, Volume II*.
- Joshi, B., & Sojitra, Y. (2015). An Appropriate Flash Flood and Landslide Warning System for Developing Countries: A Review. *National Conference on Emerging Trends in Computer, Electrical & Electronics (ETCEE-2015) International Journal of Advance Engineering and Research Development (IJAERD) e-ISSN*, 2348–4470.
- Lubis, F. (2016). Analisa frekuensi curah hujan terhadap kemampuan drainase pemukiman di kecamatan kandis. *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 2(1), 34–46.
- Murtiono, U. H. (2008). Kajian Model Estimasi Volume Limpasan Permukaan, Debit Puncak Aliran, dan Erosi Tanah dengan Model Soil Conservation Service (SCS), Rasional Dan Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) (Studi Kasus di DAS Keduang, Wonogiri). *Forum Geografi*, 22(2), 169.

- <https://doi.org/10.23917/forgeo.v22i2.4992>
- Muttaqin, A. (2022). *Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Aliran Permukaan, Erosi dan Arah Konservasi Lahan di sub DAS Keduang*. UNS (Sebelas Maret University).
- Natakusumah, D. K., Hatmoko, W., & Harlan, D. (2011). Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 18(3), 251–291.
- Pratomo, M. I. T., Sobriyah, S., & Wahyudi, A. H. (2014). Analisis Hidrograf Aliran Daerah Aliran Sungai Keduang Dengan Beberapa Metode Hidrograf Satuan Sintetis. *Matriks Teknik Sipil*, 2(3).
- Rahayu, T., Suyanto, & Solichin. (2017). Evaluasi Fungsi Bangunan Pengendali Sedimen (Check Dam) Pengkol Berdasarkan Perubahan Tata Guna Lahan Kali Keduang Kabupaten Wonogiri. *E-Jurnal Matrik Teknik Sipil*, 1(1), 16–22.
- Rahmani, R. N., Wahyudi, A. H., & Sobriyah. (2016). Transformasi Hujan Harian Ke Hujan Jam-Jaman Menggunakan Metode Mononobe dan Pengalihragaman Hujan Aliran (Studi Kasus di DAS Tirtomoyo). *Matriks Teknik Sipil*, (1995), 176–185.
- Saputra, A., & Saputri, U. S. (2021). Analisa debit banjir rencana dengan metode hidograf satuan sintetis nakayasu di daerah aliran sungai cimandiri. *Jurnal TESLINK : Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 3(1), 01–10. <https://doi.org/10.52005/teslink.v2i1.61>
- Seran, Y. M. H., Nasjono, J. K., & Ramang, R. (2020). Keakuratan Debit Maksimum Metode Nakayasu Pada Sungai Temef. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 141–152.
- Siby, E. P., Kawet, L., & Halim, F. (2013). Studi perbandingan hidrograf satuan sintetis pada daerah aliran sungai ranoyapo. *Jurnal Sipil Statik*, 1(4).
- Sihotang, R., Hazmi, M., & Rahmawati, D. (2019). Analisis Debit Banjir Rancangan Dengan Metode HSS Nakayasu. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(1), 56–65.
- Soemarto, C. D. (1995). *Hidrologi Teknik [Hydrology Engineering]*. Jakarta: Erlangga.
- Subramanya, K. (1994). *Engineering Hydrology*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education.
- Sutrisno, J., Sanim, B., Saefuddin, A., & Sitorus, S. R. P. (2011). Prediksi Erosi dan Sedimentasi di Sub Daerah Aliran Sungai Keduang Kabupaten Wonogiri. *Media Konservasi*, 16(2).
- Thessalonika, T., Handayani, Y. L., & Fauzi, M. (2018). Bentuk Distribusi Hujan Jam-Jaman Kabupaten Kampar Berdasarkan Data Satelit. *Jom FTEKNIK*, 5(1).
- Wardhana, P. N., Yuni, S. A., & Kurnia, D. (2018). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Banjir di DAS Winongo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 22(2), 157–164.
- Wigati, R., & Soedarsono, S. (2016). Analisis Banjir Menggunakan Software Hec-Ras 4.1 (Studi Kasus Sub DAS Cisimeut hilir HM 0+ 00 Sampai dengan HM 69+ 00). *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 5(1).
- Zamhari, A., Amudi, A., & DA, A. R. (2020). Evaluasi Sistem Drainase Sungai Kaligunting terhadap Banjir di Dusun Kebondalem Desa Kademangan Kecamatan Mojoagung Kabupaten Jombang. *Jurnal Tecnosienza*, 5(1), 21–36.