

Studi Perbandingan Hidrograf Satuan Sintetik pada Daerah Aliran Sungai Ciherang

Fatchur Rahman^{1*}, Fuad Ardian Nurudin², Anasya Arsita Laksmi³

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pertahanan RI

Email: ^{1*}adikfatur1@gmail.com; ²fuad.ardn@gmail.com; ³anasyaarsita@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis hidrologi di DAS Ciherang menggunakan empat metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS): Snyder-Alexeyev, Nakayasu, ITB-1, dan ITB-2. Setiap metode diterapkan untuk menilai efektivitasnya dalam memprediksi hidrograf banjir berdasarkan karakteristik fisik DAS dan data curah hujan dari tahun 2013 hingga 2023. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Snyder-Alexeyev* menghasilkan waktu puncak 4.44 jam, waktu dasar 20.17 jam, dan debit puncak 1.63 m³/det. Metode Nakayasu, dengan waktu puncak tercepat 2.05 jam dan waktu dasar 20.49 jam menghasilkan debit puncak tertinggi sebesar 2.52 m³/det. Metode ITB-1 menunjukkan waktu puncak 2.95 jam, waktu dasar 29.51 jam, dan debit puncak 1.90 m³/det. Metode ITB-2 menghasilkan waktu puncak 2.05 jam, waktu dasar 20.49 jam, dan debit puncak 1.89 m³/det. Di antara metode yang diuji, Nakayasu dan ITB-2 menunjukkan respons tercepat, dengan Nakayasu menghasilkan debit puncak tertinggi. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi manajemen banjir dan perencanaan infrastruktur di DAS Ciherang dan wilayah lain yang serupa.

Kata Kunci: Analisis Distribusi Frekuensi, Hidrograf Satuan Sintetis, Debit Banjir

ABSTRACT

This study focuses on the hydrological analysis of the Ciherang Watershed using four Synthetic Unit Hydrograph (SUH) methods: Snyder-Alexeyev, Nakayasu, ITB-1, and ITB-2. Each method was applied to determine their effectiveness in predicting flood hydrographs based on the watershed's physical characteristics and rainfall data from 2013 to 2023. The results indicate that the Snyder-Alexeyev method produced a rise time of 4.44 hours, a recession time of 20.17 hours, and a peak discharge of 1.63 m³/s. The Nakayasu method, with the fastest rise time of 2.05 hours and a recession time of 20.49 hours, generated the highest peak discharge at 2.52 m³/s. The ITB-1 method showed a rise time of 2.95 hours, a recession time of 29.51 hours, and a peak discharge of 1.90 m³/s. The ITB-2 method resulted in a rise time of 2.05 hours, a recession time of 20.49 hours, and a peak discharge of 1.89 m³/s. Among the methods, Nakayasu and ITB-2 demonstrated the quickest response, with Nakayasu yielding the highest peak discharge. These findings provide essential insights for flood management and infrastructure planning in the Ciherang Watershed and similar regions.

Key words: Frequency Distribution Analysis, Synthetic Unit Hydrograph, Flood Discharge

Submitted: 02 September 2024	Reviewed: 06 September 2024	Revised 07 September 2024	Published: 07 Februari 2025
--	---------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciherang terdapat di Kecamatan Babakan Madang, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat, dengan luas total mencapai 34,71 km². Secara geografis, DAS ini berada pada koordinat antara 106,881418° BT hingga 106,934839° BT dan 6,557178° LS hingga 6,585628° LS. Berdasarkan perhitungan *Schmidt-Ferguson* dari data BMKG Stasiun Meteorologi Citeko, DAS Ciherang memiliki nilai indeks iklim sebesar 18.18%, yang menempatkannya dalam kategori iklim hutan hujan tropis.

Iklim hutan hujan tropik mendasari pada meningkatnya frekuensi dan intensitas banjir serta longsor di Kabupaten Bogor, khususnya di wilayah Sentul dan Babakan Madang. Beberapa

kejadian banjir dan longsor yang terjadi dalam beberapa bulan terakhir telah menyebabkan kerusakan infrastruktur, seperti jalan raya alternatif di Sentul yang tergenang banjir dan menghambat akses transportasi (Astyawan, 2024). Selain itu, banjir di empat kecamatan dan 11 desa di Kabupaten Bogor telah mengakibatkan ratusan rumah terendam, bahkan menelan korban jiwa akibat longsor di Desa Sentul dan Babakan Madang (Ichwan, 2024) (S, 2024). Fenomena ini menyoroti perlunya penanganan yang lebih baik terhadap risiko bencana alam di kawasan tersebut.

Permasalahan yang muncul berkaitan dengan bagaimana perencanaan dan pengelolaan infrastruktur serta mitigasi bencana di Kabupaten Bogor, khususnya di wilayah yang rawan banjir dan longsor, dapat ditingkatkan untuk mengurangi dampak negatif terhadap masyarakat dan

infrastruktur. Meskipun terdapat upaya-upaya penanganan banjir bandang, seperti di Babakan Madang yang sempat memutus akses ke lokasi wisata (Wijaksana & Aji, 2024). Hal ini tidak jauh disebabkan akibat kali Ciherang yang meluap.

Curah hujan merupakan faktor penting yang memengaruhi iklim dan dapat menjadi sumber daya yang sangat berharga, namun di lain sisi dapat menyebabkan bencana alam. Misalnya, meskipun curah hujan sangat penting untuk pertanian dan pasokan air, curah hujan yang berlebihan dapat menyebabkan banjir, terutama di wilayah yang memiliki sistem drainase yang tidak memadai.

Keberadaan DAS Ciherang memiliki peran penting dalam pengelolaan sumber daya air, baik untuk keperluan pertanian, penyediaan air bersih, maupun pengendalian banjir. Dengan semakin berkembangnya teknologi, analisis data hidrologi menjadi semakin krusial dalam mendukung perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan pada suatu wilayah (Soewarno, 2014).

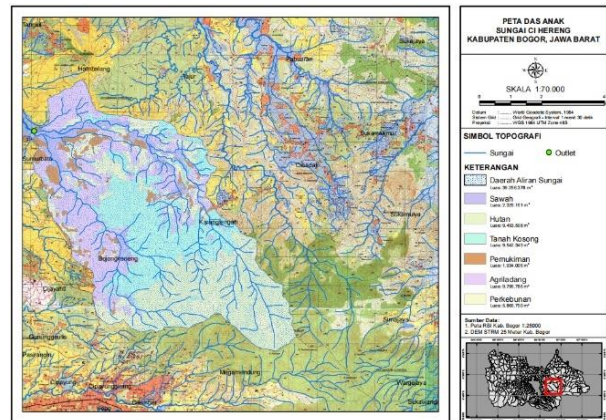
Dalam penelitian terdahulu (Fauzi, Rinaldi, & Handayani, 2012) menunjukkan bahwa metode stokastik pada analisis data hidrologi, termasuk analisis frekuensi hujan dan uji kecocokan distribusi, sangat penting untuk mengatasi ketidakpastian temporal dan spasial dari curah hujan. Hal ini sejalan dengan pentingnya memperkirakan curah hujan untuk periode ulang tertentu dalam perencanaan infrastruktur pengendali banjir. Sementara itu, kajian lainnya (Basuki, Winarsih, & Adhyani, 2009) menekankan pentingnya memahami pengaruh sirkulasi monsun terhadap pola curah hujan di Pulau Jawa, termasuk di wilayah Babakan Madang. Namun, penelitian spesifik mengenai distribusi frekuensi curah hujan dan periode ulang di Kecamatan Babakan Madang masih terbatas, sehingga mendasari penelitian ini untuk melengkapi kesenjangan tersebut.

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat suatu topik yang menarik dengan menganalisis distribusi frekuensi data curah hujan dan mengkalkulasikan periode ulang curah hujan di Kecamatan Babakan Madang atau Sentul menggunakan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun. Penelitian ini memanfaatkan data curah hujan bulanan pada tahun 2013 sampai dengan tahun 2023 yang ada di Kabupaten Babakan Madang atau Sentul. Dengan harapan penelitian ini bermanfaat untuk dasar dalam suatu perencanaan infrastruktur pengendali banjir dan pengelolaan sumber daya air.

METODE PENELITIAN

Tempat dan waktu penelitian

Daerah aliran sungai (DAS) yang dipilih menjadi area studi, yaitu pada DAS Ciherang, Bogor, Jawa Barat. Pada daerah ini memiliki luas DAS sebesar 39.26 km² dengan panjang sungai utama sebesar 13.24 km. Peta pada **Gambar 1** merupakan gabungan dari Peta Rupabumi Indonesia tahun 1998 dan peta demnas dari Ina Geosportal. Selanjutnya, data geospasial Indonesia digunakan untuk mendapatkan luas area lahan.



Gambar 1. DAS Ciherang (sumber: Ina Geoportal, 2024)

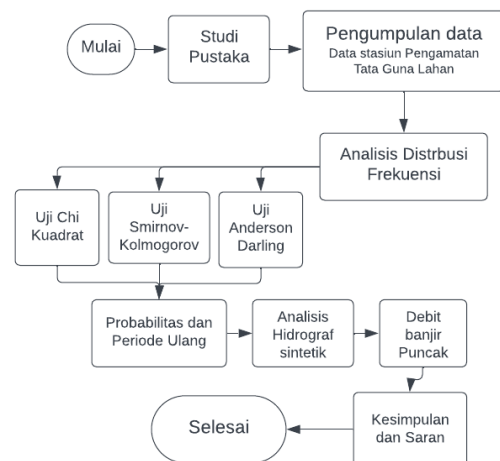
Berikut merupakan luas area lahan DAS Ciherang, yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Luas Area Lahan di DAS Ciherang

No	Parameter	Luas (km ²)
1	Sawah	2.32
2	Hutan	9.49
3	Tanah Kosong	9.54
4	Permukiman	1.93
5	Agriladang	9.79
6	Perkebunan	5.86
Total luas area lahan		38.96

(sumber: Ina Geoportal, 2024)

Bagan alir penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian (sumber: Penulis, 2024)

Penelitian ini menggambarkan riset analisis pada data sekunder yang didapatkan pada BMKG di Stasiun Meteorologi Citeko pada koordinat 106.85 BT dan 6.7 LS. Data tersebut berupa data curah hujan setiap bulan selama 11 tahun dari tahun 2013-2023. Berikut merupakan prosedur yang dilakukan selama penelitian

Pengukuran Penyebaran Data

Ukuran penyebaran atau dispersi adalah ukuran yang mendeskripsikan seberapa jauh data menyimpang dari nilai rata-ratanya (Nohe, 2014). Beberapa ukuran penyebaran yang sering digunakan dalam analisis hidrologi meliputi:

1. Simpangan Baku (S)

Simpangan baku merupakan ukuran yang menunjukkan tingkat variasi data atau standar deviasi dari rata-ratanya. Rumus untuk menghitung simpangan baku adalah:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Keterangan:

S = Simpangan baku
 n = Jumlah data
 X_i = data ke- i
 \bar{X} = Rata-rata data

2. Koefisien Variansi (C_v)

Koefisien variansi merupakan rasio antara simpangan baku dan rata-rata hitung, yang dihitung dengan rumus:

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2)$$

Keterangan:

C_v = Koefisien variansi
 \bar{X} = Rata-rata data
 S = Simpangan baku

3. Koefisien Kemiringan (C_s)

Koefisien kemiringan mengukur asimetri distribusi data, yang dihitung dengan rumus:

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S^3)} \quad (3)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien kemiringan
 \bar{X} = Rata-rata data
 X_i = Data ke i
 S = Simpangan baku
 n = Jumlah data

4. Koefisien Keruncingan (C_K)

Koefisien keruncingan mengukur tinggi puncak distribusi data, dihitung dengan rumus:

$$C_K = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S^4)} \quad (4)$$

Keterangan:

C_K = Koefisien keruncingan
 \bar{X} = Rata-rata data

X_i = Data ke i
 S = Simpangan baku
 n = Jumlah data

Analisis Distribusi frekuensi

Beberapa distribusi frekuensi digunakan dalam penelitian ini meliputi distribusi normal, log normal, Gumbel, dan log Pearson Tipe III dalam memahami data curah hujan atau debit yang terdistribusi dalam suatu periode waktu.

1. Distribusi Normal

Distribusi normal sering dimanfaatkan dalam menganalisis frekuensi curah hujan. Persamaan untuk distribusi normal adalah:

$$X_T = \bar{X} + k \times S \quad (5)$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan periode ulang T tahunan
 \bar{X} = Rata-rata data
 k = Faktor frekuensi
 S = Simpangan baku

1. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal adalah hasil transformasi logaritmik dari distribusi normal, dengan persamaan:

$$\log X_T = \overline{\log X} + k \times S_{(\log x)} \quad (6)$$

Keterangan:

$\log X_T$ = Rata-rata nilai logaritma data
 k = Faktor frekuensi
 $S_{(\log x)}$ = Simpangan baku nilai logaritmik data

2. Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel berfungsi untuk menganalisis data ekstrem, seperti curah hujan maksimum. Persamaan yang digunakan adalah:

$$X_T = \bar{X} + K \times S \quad (7)$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan maksimum
 K = Faktor frekuensi gumbel
 S = Simpangan baku

Untuk mendapatkan nilai faktor frekuensi Gumbel, dapat digunakan rumus berikut:

$$Y_T = -\ln\left(-\ln\frac{T^r-1}{T^r}\right) \quad (8)$$

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (9)$$

Keterangan:

Y_T = Variasi reduksi
 Y_n = Rata-rata reduksi
 S_n = Reduksi simpangan baku

3. Distribusi Log Pearson Tipe III

Distribusi log Pearson Tipe III sering berfungsi untuk menganalisis data ekstrem, dengan persamaan:

$$\log X_T = \overline{\log X} + k \times S_{(\log x)} \quad (10)$$

Keterangan:

$\overline{\log X}$ = Rata-rata nilai logaritma
 $S_{(\log x)}$ = Simpangan baku nilai logaritmik data
 k = Faktor frekuensi
Keempat metode tersebut akan dipilih berdasarkan analisis penyebaran data yang masuk kedalam kriteria pada **Tabel 2** sebagai berikut:

Tabel 2. Kriteria pemilihan metode distribusi

No	Jenis Metode	Kriteria
1	Normal	$C_s = 0; C_K = 3$
2	Log normal	$C_V > 0; C_s < 3C_V$
3	Gumbel	$C_s \leq 1.4; C_K \leq 5.4$
4	Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0; C_V = 0.05$

(sumber: Penulis, 2024)

Pengujian Kecocokan Distribusi

Pengujian kecocokan distribusi dalam penelitian ini menggunakan uji *Chi-Square*, *Kolmogorov-Smirnov*, dan *Anderson-Darling* menentukan kesesuaian data mengikuti distribusi teoritis tertentu.

1. Uji *Chi Square*

Analisis menggunakan metode *Chi-Square* menentukan kesesuaian distribusi yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik dari data sampel yang dianalisis. Berikut rumus yang digunakan:

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (11)$$

Keterangan:

X_h^2 = parameter *chi square* terhitung
 O_i = frekuensi hasil pengamatan
 m = jumlah kategori
 E_i = frekuensi yang diharapkan

1. Uji *Kolmogorov-Smirnov*

Sementara itu, uji *Kolmogorov-Smirnov* tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu, Uji KS ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$D = \max_x |Fa(x) - Fe(x)| \quad (12)$$

Keterangan:

$Fa(x)$ = Probabilitas empiris
 $Fe(x)$ = Probabilitas teoritis

2. Uji *Anderson-Darling*

Selanjutnya untuk uji *Anderson-Darling* berfungsi untuk menguji kesesuaian sampel berasal dari populasi dengan distribusi tertentu. Berikut merupakan persamaan AD:

$$AD^2 = -n + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [(\ln F(Z_i)) + \ln(1 - F(Z_{n+i-1}))] \quad (13)$$

Keterangan:

AD^2 = Nilai statistik uji
 n = Jumlah data
 Z_i = Data yang telah distandarisasi
 $F(Z_i)$ = Nilai fungsi distribusi kumulatif normal baku

Analisis Curah Hujan

Metode *Polygon Thiessen* dilakukan untuk mendapatkan curah hujan rata-rata dari suatu stasiun pengukuran dengan rumus berikut:

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (14)$$

Keterangan:

\bar{R} = Curah hujan daerah
 $R_1 \dots R_n$ = Curah hujan di tiap titik pengamatan
 $R_1 \dots R_n$ = Luas daerah tiap stasiun pengamatan

Analisis Hidrologi dan Periode Ulang

Data curah hujan adalah komponen penting dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis frekuensi untuk menentukan hujan rancangan maksimum (Soewarno, 2014).

Data tersebut dianalisis berdasarkan kejadian esktrm dengan periode ulang sesuai dengan konsep hidrograf satuan sintetis (HSS).

Hidrograf Satuan Sintetis Snyder

Menurut F.F. *Snyder*, beberapa unsur hidrograf satuan dikembangkan dengan beberapa koefisien empiris dari suatu karakteristik DAS. Dalam pemodelannya terdapat unsur-unsur berikut:

$$t_p = 0.75 \times C_t (L \times L_c)^{0.3} \quad (15)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5.5} \quad (16)$$

$$Q_p = 2.75 \times \frac{C_p \times A}{t_p} \quad (17)$$

$$T_b = 72 + 3 \times t_p \text{ atau } T_p = \frac{5.56}{q_{pR}} \quad (18)$$

Keterangan:

t_p = *Time lag* (jam)
 Q_p = Debit puncak ($m^3/detik$)
 T_b = Waktu dasar (jam)
 q_{pR} = Debit per satuan luas ($m^3/detik/km^2$)

Koefisien C_t dan C_p bergantung pada satuan dan ciri DAS (Wilson, 1990). Biasanya C_t memiliki rentang 0.75-3.00 sedangkan C_p pada rentang 0.9-1.4 (Soewarno, 1995).

Dalam menentukan hubungan Q_p dan waktu (t) maka dilakukan persamaan Alexeyev sebagai berikut:

$$Y = 10^{-a \frac{(1-X)^2}{X}} \quad (19)$$

$$X = \frac{t}{T_R} \quad (20)$$

$$a = 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \quad (21)$$

$$\lambda = \frac{Q_P \times T_R}{h \times A} \quad (22)$$

Keterangan:

λ = Bilangan Alexeyev
 h = Tinggi satuan hujan dalam 1 inci (mm)
 a = Parameter hidrograf

Sehingga mendapatkan debit dengan rumus berikut:

$$Q = Y \times Q_p \quad (23)$$

Keterangan:

Q = Debit hujan ($m^3/s/mm$)

Dari persamaan (20) dan (23), dapat membuat grafik hidrograf satuan *snyder*.

Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

HSS Nakayasu menggunakan pendekatan empiris untuk menggambarkan hidrograf satuan dengan memanfaatkan beberapa parameter kunci seperti debit puncak, waktu puncak, dan bentuk lengkung hidrograf. Berikut komponen-komponen analisis HSS Nakayasu:

1. Penentuan *Time Lag* (T_g)

Nilai *time lag* Nakayasu berdasarkan panjang sungai DAS. Berikut merupakan rumusnya:

$$T_g = 0.4 + 0.058L; L > 15 \text{ km} \quad (24)$$

$$T_g = 0.21 \times L^{0.7}; < 15 \text{ km} \quad (25)$$

Keterangan

T_g = *Time Lag* (Jam)

L = Panjang sungai terpanjang (Km)

2. Penentuan *Time to Peak* (T_p)

Waktu puncak HSS Nakayasu ditentukan dari *time lag* (T_g) dan durasi hujan efektif (T_r) yaitu sebagai berikut:

$$T_p = T_g + 0,8T_r \quad (26)$$

Keterangan

T_p = *Time Peak* (Jam)

T_g = *Time Lag* (Jam)

T_r = durasi hujan efektif (Jam)

3. Penggambaran kurva

Kurva pada Nakayasu ditentukan pada dua kondisi, yaitu kondisi naik dan kondisi turun. Debit hingga titik puncak didapatkan dengan rumus berikut:

$$Q_a = Q_p \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2.4} \quad (27)$$

Keterangan:

Q_p = Debit puncak (m^3/s)

T_p = Waktu puncak (jam)

Q_a = Debit pada waktu puncak (m^3/s)

t = Durasi (jam)

Sedangkan pada kondisi turun memiliki tiga rentang, yaitu:

$$\text{Jika } T_p < t < (T_p + T_{0.3}) \quad (28)$$

$$Q_{d1} = Q_p \times 0.3 \left(\frac{1-T_p}{T_{0.3}}\right)$$

$$\text{Jika } (T_p + T_{0.3}) < t < (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}) \quad (29)$$

$$Q_{d2} = Q_p \times 0.3 \left(\frac{1-T_p+0.5}{1.5T_{0.3}}\right)$$

$$\text{Jika } t > (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}) \quad (30)$$

$$Q_{d3} = Q_p \times 0.3 \left(\frac{1-T_p+1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}}\right)$$

Untuk mendapatkan nilai tersebut, dapat menggunakan rumus berikut:

$$a = 0.47 \times \frac{(A \times L)^{0.25}}{T_g} \quad (31)$$

$$T_{0.3} = T_g \times a \quad (32)$$

Hidrograf Satuan Sintetis ITB-1

Pengembangan HSS ITB-1 diterapkan dengan pendekatan *Reverse Engineering* yakni pembuatan metode baru berdasarkan analisis berbagai metode lain dengan lebih sederhana. Dalam proses analisis, parameter HSS ITB-1 banyak mengacu pada HSS *Snyder*. Berikut merupakan komponen yang dianalisis:

1. Penentuan *Time Lag* (T_L)

Waktu puncak HSS ditentukan oleh harga *time lag*. *Time lag* merupakan waktu tercapainya debit puncak dihitung dari pusat hujan satuan. Untuk menghitung T_L dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$T_L = C_t(1,5L)^{0.3} \quad (33)$$

Keterangan

T_L = *Time Lag* (Jam)

C_t = Koefisien untuk proses kalibrasi

L = Panjang sungai terpanjang (km)

2. Penentuan *Time to Peak* (T_p)

Karena HSS ITB-1 mengacu pada rumus *Snyder*, maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T_p = T_L + 0,50 T_r \quad (34)$$

Keterangan

T_p = *Time Peak* (Jam)

T_L = *Time Lag* (Jam)

T_r = durasi hujan efektif (Jam)

3. Penentuan *Time Base* (T_b)

Secara teori *time base* bernilai tak berhingga, namun pada prakteknya T_b dapat dibatasi untuk mendekati nol. Untuk menghitung *time base* maka dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T_b = (10s/d20) \times T_p \quad (35)$$

Keterangan

T_p = *Time Peak* (Jam)

T_b = *Time Base* (Jam)

4. Penentuan nilai q (Persamaan Lengkung)

HSS ITB-1 hanya mempunyai satu persamaan lengkung baik lengkung naik maupun lengkung turun memiliki rumus sebagai berikut:

$$q(t) = \exp\left\{2 - t - \frac{1}{t}\right\}^{\alpha C_p} \quad (36)$$

Keterangan

$q(t)$ = persamaan lengkung

α = koefisien hss itb-1, bernilai 1.5

t = durasi (Jam)

C_p = koefisien karakteristik DAS

5. Penentuan nilai Debit Puncak (Q_p)

Untuk menghitung nilai debit puncak dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{R}{3,6 T_p} \times \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}} \quad (37)$$

Keterangan

Q_p = Debit puncak hidrograf satuan (m^3/s)

R = Curah hujan satuan (mm)
 T_p = Waktu mencapai puncak (jam)
 A_{DAS} = Luas DAS (km²)
 A_{HSS} = *Dimensionless unit hydrograph*

6. Penentuan nilai luas (A_i)
 Untuk menghitung nilai luas dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A_i = \frac{1}{2}(q_{(i+1)} + q_i)(t_{i+1} - t_i) \quad (38)$$

Keterangan:

A_i = Luas HSS berdimensi (m³)

7. Penentuan nilai A_{HSS}

Luas kurva hidrograf satuan tak berdimensi menggunakan metode trapesium, yaitu dengan rumus sebagai berikut:

$$A_{HSS} = \sum_{i=1}^N A_i \quad (39)$$

8. Penentuan nilai (Q_i)

Untuk menghitung nilai ordinat HSS dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_i = Q_p \times q_i \quad (40)$$

Keterangan

Q_p = Debit puncak hidrograf satuan (m³/s)

q_i = faktor pengali debit puncak

9. Penentuan nilai V_i

Untuk menghitung nilai luas area dibawah kurva HSS terhadap waktu yang sebenarnya yang terdapat interval sebelum dan sesudah waktu debit puncak dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_i = \frac{3600}{2}(Q_i + Q_{i+1})(T_{i+1} - T_i) \quad (41)$$

Keterangan:

V_i = Faktor pengali luas area

10. Penentuan nilai V_{HSS}

Dalam menghitung nilai volume aliran permukaan akibat hujan efektif satu-satuan yang jatuh di DAS dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_{HSS} = \sum_{i=1}^N V_i \quad (42)$$

Keterangan:

V_{HSS} = Volume aliran permukaan HSS

11. Penentuan nilai V_{DAS}

Jika h merupakan tinggi hujan efektif satu satuan ($h = 1$ mm) dan A adalah luas DAS (km²), maka untuk volume hujan efektif satu satuan yang jatuh merata pada DAS dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{DAS} = 1000 h A \quad (43)$$

Keterangan:

V_{DAS} = Volume aliran permukaan DAS

Berdasarkan teori konservasi massa, maka volume di bawah kurva hidrograf harus sama dengan volume hujan efektif diseluruh DAS ($V_{HSS} = A_{HSS}$).

12. Penentuan nilai H_{DRO}

Dari definisi hidrograf satuan, maka tinggi limpasan langsung (*Direct Run Off*) H_{DRO} harus

sama dengan 1 mm (tinggi hujan satuan) sesuai dengan persamaan berikut:

$$H_{DRO} = \frac{V_{HSS}}{A_{HSS}} = 1 \quad (44)$$

Hidrograf Satuan Sintetis ITB-2

Pengembangan HSS ITB-2 hasil dari pendekatan yang sama dengan HSS ITB-1. Parameter analisis HSS ITB-2 banyak mengacu pada HSS Nakayasu. Berikut merupakan komponen yang dianalisis:

1. Penentuan *Time Lag* (T_L)

Waktu puncak HSS ditetapkan dari harga *time lag*. Untuk menghitung T_L pada ITB-2 memiliki dua kondisi panjang sungai dengan rumus sebagai berikut:

Jika ($L < 15$ km)

$$T_L = C_t \times 0,21 \times L^{0,7} \quad (45)$$

Jika ($L \geq 15$ km)

$$T_L = C_t \times 0,527 + 0,058 \times L \quad (46)$$

Keterangan

T_L = *Time Lag* (Jam)

C_t = Koefisien untuk proses kalibrasi

L = Panjang sungai terpanjang (Km)

2. Penentuan *Time to Peak* (T_p)

Karena HSS ITB-2 mengacu pada rumus Nakayasu, maka menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T_p = 1,60 T_L \quad (47)$$

Keterangan

T_p = *Time Peak* (Jam)

T_L = *Time Lag* (Jam)

Langkah pada ITB-2 selanjutnya sama dengan ITB-1 dari persamaan (35) hingga persamaan (44).

Koreksi Hidrograf Sintetis Satuan

Koreksi pada debit dari setiap hidrograf satuan sintetis dilakukan dengan membandingkan luas DAS Cihérang. Berikut merupakan rumus koreksi hidrograf satuan:

$$VLL = \sum Q \times 60 \times 60 \quad (48)$$

$$TLL = \frac{VLL}{A_{DAS} \times 10^6} \times 1000 \quad (49)$$

Keterangan:

VLL = Jumlah luasan debit

TLL = Koreksi luasan debit terhadap DAS

Jika koreksi luasan debit terhadap DAS (TLL) bernilai lebih dari 1 (satu), maka debit koreksi (Q koreksi) dibagi dengan TLL dan sebaliknya apabila bernilai kurang dari 1 (satu) maka Q koreksi dikali dengan TLL .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data intensitas curah hujan didapatkan dari hasil pengamatan BMKG selama 11 tahun di Stasiun Meteorologi Citeko. Berikut merupakan data hujan wilayah pada DAS Cihérang:

Tabel 3. Hujan Wilayah DAS Ciherang

No	Tahun	R (mm)
1	2014	192.8
2	2018	164.1
3	2013	130
4	2021	124
5	2019	120.5
6	2020	118.7
7	2023	107.2
8	2017	90
9	2022	89.1
10	2015	86.6
11	2016	80.5

(sumber: Penulis, 2024)

Pemilihan jenis distribusi

Data curah hujan diolah dengan perhitungan dispersi untuk membandingkan nilai koefisien variasi, kemiringan, dan keruncingan. Berikut merupakan perhitungan ukuran dispersi:

Tabel 4. Perhitungan Ukuran Dispersi

Parameter	CH (mm)	CH Log (mm)
C_V	0.29	17.25
C_S	1.08	0.58
C_K	2.47	1.92

(sumber: Penulis, 2024)

Dari hasil koefisien tersebut selanjutnya dibandingkan untuk melihat jenis distribusi yang memenuhi persyaratan. Berikut merupakan tabel kondisi jenis penentuan distribusi:

Tabel 5. Penentuan Jenis Distribusi

Jenis	Syarat	Kondisi
N	$C_S = 0; C_K = 3$ $C_V > 0; C_S < 3C_V$	NO
G	$C_S \leq 1.4; C_K \leq 5.4$ $C_S \neq 0; C_V = 0.05$	OK
LP III	$C_S = 0; C_K = 3$	OK
LN	$C_V > 0; C_S < 3C_V$ $C_S \leq 1.4; C_K \leq 5.4$	NO

(sumber: Penulis, 2024)

Uji Kecocokan Distribusi

Uji kecocokan diperlukan untuk melihat legibilitas dari jenis distribusi dikarenakan metode Gumbel dan Log Pearson III dengan uji Kolmogorov-Smirnov (KS), Chi-Square (CS) dan Anderson-Darling (AD). Berikut hasil pengujiannya:

Tabel 6. Hasil Uji Kecocokan

Uji Kecocokan	Gumbel	Log Pearson III
Uji KS	Cocok	Cocok
Uji CS	Cocok	Cocok
Uji AD	Cocok	Tidak Cocok

(sumber: Penulis, 2024)

Periode Ulang

Periode ulang hujan ditentukan hasil distribusi gumbel setelah melihat hasil uji kecocokan pada **Tabel 6**. Hasil Uji Kecocokan **Tabel 6**. Berikut merupakan hasil perhitungan periode ulang pada tahun 2, 5, 10, 25, 50, dan 100.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Periode Ulang

Tahun	K	X_T (mm/hari)
2	-0.14	113.73
5	1.54	172.07
10	1.81	181.26
25	2.79	215.25
50	3.52	240.47
100	4.24	265.50

(sumber: Penulis, 2024)

Analisis Debit Banjir Rencana

Analisis yang diterapkan dalam menghitung debit rencana banjir di DAS Ciherang menggunakan 4 (empat) metode yaitu HSS Snyder-Alexeyev, HSS Nakayasu, HSS ITB-1, HSS ITB-2. Berikut merupakan tabel analisis parameter awal yang dapat digunakan dalam perhitungan macam-macam HSS pada penelitian:

Tabel 8. Parameter Awal HSS

No	Parameter Awal	Simbol	Nilai
1	Luas DAS	A	39.26 km ²
2	Panjang Sungai	L	13.24 km
3	Jarak titik berat	L_C	4.96 km
4	Koefisien kemiringan	C_T	1.10
5	Koef karakteristik	C_P	0.69
6	Koefisien n	n	0.30
7	Unit hujan	R_0	1 mm

(sumber: Penulis, 2024)

HSS Snyder-Alexeyev

Grafik HSS Snyder-Alexeyev didapatkan dari parameter berikut ini:

Tabel 9. Parameter HSS Snyder-Alexeyev

No.	Parameter hidrograf	Nilai
1	Waktu Puncak (T_P)	4.44 jam
2	Time Base (T_b)	20.17 jam
3	Debit Puncak Banjir (Q_P)	1.91 m ³ /s
4	Lambda (λ)	0.77
5	Koefisien a	0.96

(sumber: Penulis, 2024)

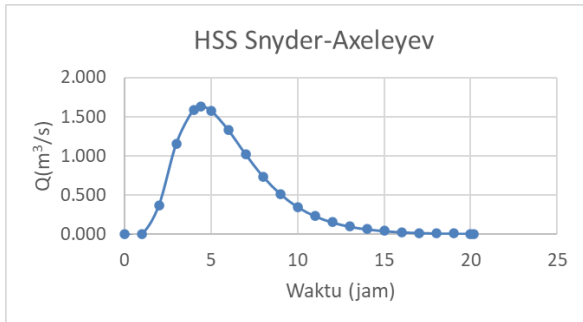
Berikut merupakan hasil perhitungan perjamnya:

Tabel 10. Perhitungan Hidrograf Synder-Axeleyev

t (jam)	X	Y	Q (m ³ /dt/mm)	Q Koreksi
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.23	0.00	0.01	0.00
2	0.45	0.23	0.44	0.37
3	0.68	0.71	1.36	1.15
4	0.90	0.98	1.87	1.59

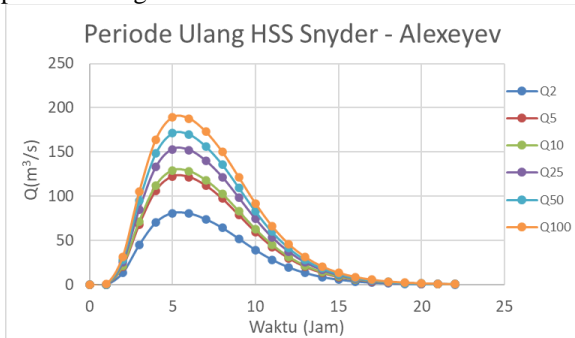
t (jam)	X	Y	Q (m ³ /dt/mm)	Q Koreksi
4.44	1.00	1.00	1.91	1.63
5	1.13	0.97	1.85	1.58
6	1.35	0.82	1.56	1.33
7	1.58	0.63	1.20	1.02
8	1.80	0.45	0.87	0.74
9	2.03	0.31	0.60	0.51
10	2.25	0.21	0.41	0.35
11	2.48	0.14	0.27	0.23
12	2.71	0.09	0.18	0.15
13	2.93	0.06	0.11	0.10
14	3.16	0.04	0.07	0.06
15	3.38	0.02	0.05	0.04
16	3.61	0.02	0.03	0.03
17	3.83	0.01	0.02	0.02
18	4.06	0.01	0.01	0.01
19	4.28	0.00	0.01	0.01
20	4.51	0.00	0.00	0.00
20.17	4.55	0.00	0.00	0.00

(sumber: Penulis, 2024)



Gambar 3. Grafik HSS Snyder-Alexeyev (sumber: Penulis, 2024)

Berikut merupakan grafik HSS Snyder-Alexeyev periode ulang:



Gambar 4. Grafik HSS Snyder-Alexeyev (sumber: Penulis, 2024)

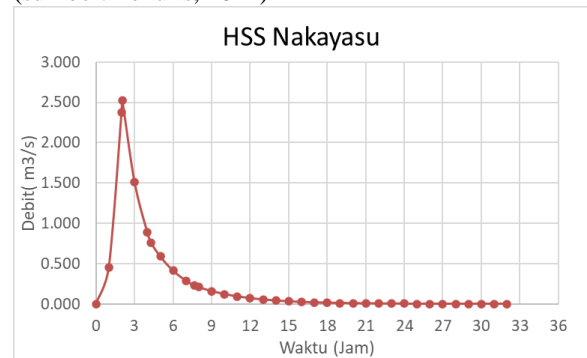
HSS Nakayasu

Dari data parameter awal pada **Tabel 8**, dapat diketahui nilai waktu puncak dan debit puncak pada HSS Nakayasu dengan rumus yang telah ditentukan. Berikut merupakan hasil perhitungan perjamnya:

Tabel 11. Perhitungan Hidrograf Nakayasu

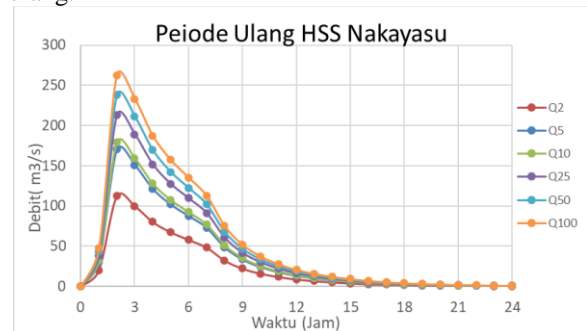
t (jam)	Q (m ³ /dt/mm)	Q Koreksi
0	0.00	0.00
1	0.68	0.45
2	3.60	2.38
2.05	3.81	2.52
3	2.29	1.51
4	1.34	0.89
4.29	1.14	0.76
5	0.89	0.59
6	0.62	0.41
7	0.43	0.29
7.66	0.34	0.23
8	0.31	0.21
9	0.24	0.16
10	0.18	0.12
11	0.14	0.09
12	0.11	0.07
13	0.08	0.05
14	0.06	0.04
15	0.05	0.03
16	0.04	0.02
17	0.03	0.02
18	0.02	0.01
19	0.02	0.01
20	0.01	0.01
20.49	0.01	0.01

(sumber: Penulis, 2024)



Gambar 5. Grafik HSS Nakayasu (sumber: Penulis, 2024)

Berikut merupakan grafik HSS Nakayasu periode ulang:



Gambar 6. Grafik HSS Nakayasu (sumber: Penulis, 2024)

HSS ITB I

Dengan menggunakan Tabel 8 sebagai parameter awal, dapat dilakukan analisis HSS ITB, yaitu:

Tabel 12. Perhitungan HSS ITB-I Tak Berdimensi

t (Jam)	HSS Tak Berdimensi		
	T	q	A _{HSS}
0	0.00	0.00	0.00
1	0.34	0.14	0.02
2	0.68	0.79	0.16
2.95	1.00	1.00	0.29
3	1.02	1.00	0.02
4	1.36	0.87	0.32
5	1.69	0.65	0.26
6	2.03	0.46	0.19
7	2.37	0.30	0.13
8	2.71	0.20	0.09
9	3.05	0.13	0.06
10	3.39	0.08	0.04
11	3.73	0.05	0.02
12	4.07	0.03	0.01
13	4.41	0.02	0.01
14	4.74	0.01	0.01
15	5.08	0.01	0.00
16	5.42	0.00	0.00
17	5.76	0.00	0.00
18	6.10	0.00	0.00
19	6.44	0.00	0.00
20	6.78	0.00	0.00
21	7.12	0.00	0.00
22	7.45	0.00	0.00
23	7.79	0.00	0.00
24	8.13	0.00	0.00
25	8.47	0.00	0.00
26	8.81	0.00	0.00
27	9.15	0.00	0.00
28	9.49	0.00	0.00
29	9.83	0.00	0.00
29.51	10.00	0.00	0.00
		A_{HSS}	1.61

(sumber: Penulis, 2024)

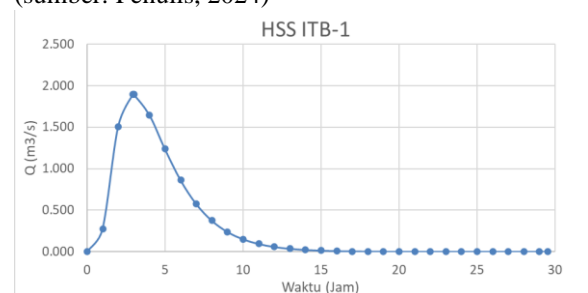
Dalam menentukan debit puncak A_{HSS} didapatkan dari hasil jumlah luas hingga jam terakhir. Diperoleh A_{HSS} = 1.613, maka HSS ITB menggunakan Persamaan (37) mendapatkan Q_P sebesar 2.29 m³/s, sedangkan tinggi limpasannya sebesar 1 mm dari perbandingan V_{DAS} dan V_{HSS}.

Tabel 13. Perhitungan HSS ITB-I Berdimensi

t (Jam)	HSS Berdimensi		
	Q _i (m ³ /dt/mm)	Q koreksi	V _{HSS} (m ³)
0	0.00	0.00	0.00
1	0.33	0.27	595.39
2	1.82	1.51	3871.21
2.95	2.29	1.89	7037.22
3	2.29	1.89	402.51
4	1.99	1.65	7705.81

t (Jam)	HSS Berdimensi		
	Q _i (m ³ /dt/mm)	Q koreksi	V _{HSS} (m ³)
5	1.49	1.24	6275.48
6	1.04	0.86	4566.50
7	0.70	0.58	3129.67
8	0.45	0.38	2070.07
9	0.29	0.24	1338.39
10	0.18	0.15	852.06
11	0.11	0.09	536.53
12	0.07	0.06	335.13
13	0.04	0.04	208.05
14	0.03	0.02	128.55
15	0.02	0.01	79.14
16	0.01	0.01	48.57
17	0.01	0.01	29.73
18	0.00	0.00	18.17
19	0.00	0.00	11.08
20	0.00	0.00	6.75
21	0.00	0.00	4.11
22	0.00	0.00	2.50
23	0.00	0.00	1.51
24	0.00	0.00	0.92
25	0.00	0.00	0.56
26	0.00	0.00	0.34
27	0.00	0.00	0.20
28	0.00	0.00	0.12
29	0.00	0.00	0.07
29.51	0.00	0.00	0.03
		V_{HSS}	39256

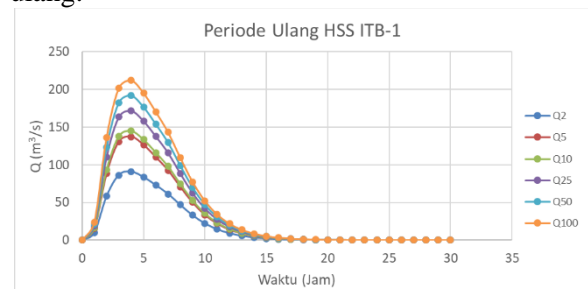
(sumber: Penulis, 2024)



Gambar 7. Grafik HSS ITB-1

(sumber: Penulis, 2024)

Berikut merupakan grafik HSS ITB-1 periode ulang:



Gambar 8. Periode Ulang HSS ITB-1

(sumber: Penulis, 2024)

HSS ITB-2

HSS ITB 2 memiliki beberapa parameter awal yang diperlukan untuk perhitungan hidrograf. Pada metode ini menggunakan koefisien waktu C_t senilai 1 (satu) dengan parameter yang telah disampaikan. Diketahui panjang sungai kurang dari 15 km, sesuai persamaan (33), (34), dan (35); T_L , T_P , dan T_b masing-masing bernilai 1.28 jam, 2.05 jam, dan 20.49 jam.

Dari hasil tersebut, dapat dihitung dengan rumus yang sama dengan ITB-1:

Tabel 14. Perhitungan HSS ITB-2 Tak Berdimensi

t (Jam)	HSS Tak Berdimensi		
	T	q	A _{HSS}
0	0.00	0.00	0.00
1	0.49	0.64	0.16
2	0.98	0.99	0.40
2.05	1.00	1.00	0.02
3	1.46	0.73	0.40
4	1.95	0.54	0.31
5	2.44	0.41	0.23
6	2.93	0.31	0.18
7	3.42	0.24	0.13
8	3.90	0.19	0.10
9	4.39	0.15	0.08
10	4.88	0.12	0.07
11	5.37	0.10	0.05
12	5.86	0.08	0.04
13	6.34	0.06	0.03
14	6.83	0.05	0.03
15	7.32	0.04	0.02
16	7.81	0.03	0.02
17	8.30	0.03	0.01
18	8.78	0.02	0.01
19	9.27	0.02	0.01
20	9.76	0.02	0.01
20.49	10.00	0.01	0.00
		A _{HSS}	2.33

(sumber: Penulis, 2024)

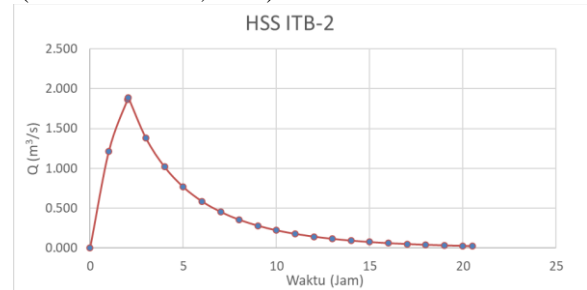
Debit puncak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (37), yaitu 2.29 m³/s.

Tabel 15. Perhitungan HSS ITB-2 Berdimensi

t (Jam)	HSS Berdimensi		
	Q _i (m ³ /dt/mm)	Q koreksi	V _{HSS} (m ³)
0	0.00	0.00	0.00
1	1.47	1.21	2639.04
2	2.25	1.86	6694.92
2.05	2.29	1.89	403.32
3	1.67	1.38	6769.10
4	1.23	1.02	5221.14
5	0.93	0.77	3891.38
6	0.71	0.59	2954.58
7	0.55	0.46	2275.18
8	0.43	0.36	1771.90
9	0.34	0.28	1392.89
10	0.27	0.22	1103.66

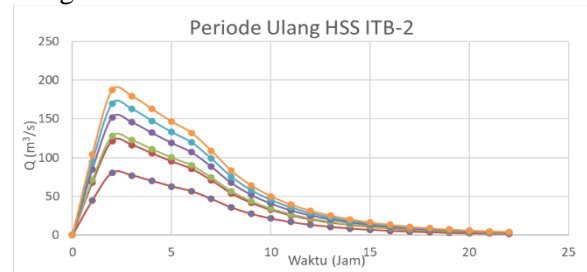
11	0.22	0.18	880.50
12	0.18	0.14	706.70
13	0.14	0.12	570.24
14	0.12	0.10	462.34
15	0.09	0.08	376.49
16	0.08	0.06	307.79
17	0.06	0.05	252.55
18	0.05	0.04	207.91
19	0.04	0.04	171.70
20	0.04	0.03	142.20
20.49	0.03	0.03	60.85
		V _{HSS}	39256

(sumber: Penulis, 2024)



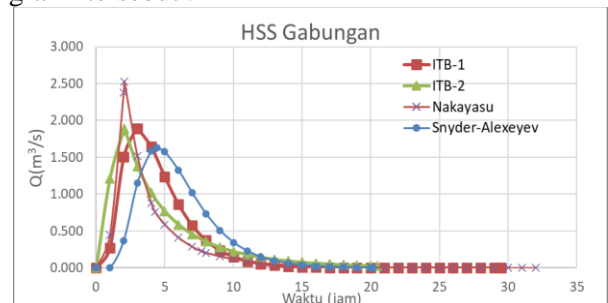
Gambar 9. Grafik HSS ITB-2 (sumber: Penulis, 2024)

Berikut merupakan grafik HSS ITB-2 periode ulang:



Gambar 10. Grafik HSS ITB-2 (sumber: Penulis, 2024)

Berikut adalah gabungan antara keempat grafik grafik tersebut :



Gambar 11. Grafik Gabungan HSS (sumber: Penulis, 2024)

Kurva HSS tersebut telah dilakukan koreksi terhadap DAS Cihérang, sehingga satu sama lain tidak berbeda jauh. Namun, dapat teridentifikasi bahwa grafik Nakayasu memiliki debit puncak tertinggi.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis DAS Cihérang diperoleh bahwa HSS Snyder-Alexeyev memiliki waktu puncak 4.44 jam, waktu dasar 20.17 jam, dan debit maksimum 1.63 m³/s; HSS Nakayasu memiliki waktu puncak 2.05 jam, waktu dasar 20.49 jam, dan debit maksimum 2.52 m³/s; HSS ITB-1 memiliki waktu puncak 2.95 jam, waktu dasar 29.51 jam, dan debit maksimum 1.90 m³/s; serta HSS ITB-2 memiliki waktu puncak 2.05 jam, waktu dasar 20.49 jam, dan debit maksimum 1.89 m³/s, di mana waktu puncak tercepat diperoleh dari metode Nakayasu dan ITB-2 dengan nilai 2.05 jam, dan debit puncak tertinggi diperoleh dari metode Nakayasu sebesar 2.52 m³/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan diberikan kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika dalam memberikan bantuan berupa ketersediaan data dalam mendukung penelitian ini. Atas segala bantuan dan dukungan terhadap seluruh kontributor penulis, disampaikan ucapan terima kasih kepada Anasya Arsita Laksmi selaku dosen pembimbing dalam penyusunan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Astyawan, P. R. (den 2 April 2024). *OKEZONE NEWS*. Jalan Raya Alternatif Sentul Bogor Tergenang Banjir: <https://megapolitan.okezone.com/read/2024/04/02/338/2991723/jalan-raya-alternatif-sentul-bogor-tergenang-banjir>
- Basuki, B., Winarsih, I., & Adhyani, N. (2009). Analisis Periode Ulang Hujan Maksimum dengan Berbagai Metode. *Agromet*, 23(2), 76–92. DOI: <https://doi.org/10.29244/j.agromet.23.2.76-92>
- Kustiawan, K., Heryansyah, A., & Alimuddin, A. (2024). Analisis Kapasitas Drainase Kawasan Pemukiman di Desa Cihideung Ilir, Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i1.14763>
- Studi Perbandingan Hidrograf Satuan Sintetik Pada Daerah Aliran Sungai Ranoyapo. *Jurnal Sipil Statik*, 1(4). <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/1389>
- Fauzi, M., Rinaldi, R., & Handayani, F. Y. (2012). Pemilihan Distribusi Frekuensi Hujan Harian Maksimum Tahunan Pada Wilayah Sungai Akuaman Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.31258/jst.v11.n1.p%25p>
- Hidayat, R., & Fariyah, A. W. (2020). Identification of the changing air temperature and rainfall in Bogor. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 10(4), 616–626. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.4.616-626>
- Ichwan, A. (2024). *iNews Tangsel*. Banjir Merendam 959 Rumah di Desa Sentul, Satu Orang Tertimbun Longsor di Babakan Madang Bogor: <https://tangsel.inews.id/read/423054/banjir-merendam-959-rumah-di-desa-sentul-satu-orang-tertimbun-longsor-di-babakan-madang-bogor>
- Irawan, P., Sari, N. K., Hidayat, A. K., Nursani, R., & Hendra, H. (2020). Bandingan Hss Snyder-Alexeyev, Nakayasu Dan Gamma 1 Pada Analisis Banjir Sub Das Ciliung Untuk Perencanaan Bangunan Air. *Jurnal Siliwangi Seri Sains dan Teknologi*, 6(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.37058/jssainstek.v6i1.1794>
- Labdul, B., & Alitu, A. (2021). Comparison of snyder synthetic unit hydrograph with measured unit hydrograph on Bionga Kayubulan. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(2), 022067. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/2/022067>
- Natakusumah, D. K., Hatmoko, W., & Harlan, D. (2011). Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(3), 251. <https://doi.org/10.5614/jts.2011.18.3.6>
- S, E. (2024). *Tribunnews*. 4 Kecamatan dan 11 Desa Terendam Banjir dan Longsor di Kabupaten Bogor: Sentul Wilayah Terparah: <https://www.tribunnews.com/regional/2024/03/25/4-kecamatan-dan-11-desa-terendam-banjir-dan-longsor-di-kabupaten-bogor-sentul-wilayah-terparah>
- Soewarna. (1995). *Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid 2*. Bandung: Nova <https://www.scribd.com/doc/224665948/>
- Soewarno. (2014). *Aplikasi Metode Statistika Untuk Analisis Data Hidrologi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- <https://www.scribd.com/doc/179614937/Hidrologi-Aplikasi-Metode-statistik-untuk-analisa-data-Jilid-1-pdf>
- Subakah. (1980). *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma.
<https://balaiyanpus.jogjaprovo.go.id/opac/detail-opac?id=66452>
- Triatmodjo. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset
<https://ebooktekniksipil.wordpress.com/air/pelabuhan-2/pelabuhan/>
- Weatherspark. (u.d.). *Iklm dan Cuaca Rata-Rata Sepanjang Tahun di Sentul*. Weather Spark:
<https://id.weatherspark.com/y/119650/Cuaca-Rata-rata-pada-bulan-in-Sentul-Indonesia-Sepanjang-Tahun>
- Widyawati, W., Yuniarti, D., & Goejantoro, R. (2021). Analisis Distribusi Frekuensi dan Periode Ulang Hujan. *Eksponensial*, 11(1), 65.
<https://doi.org/10.30872/eksponensial.v11i1.646>
- Wijaksana, F., & Aji, P. (2024). *Poskota*. Banjir Bandang Putus Akses Wisata di Babakan Madang Bogor:
<https://poskota.co.id/2024/04/19/banjir-bandang-putus-akses-wisata-di-babakan-madang-bogor>
- Wilson. (1990). *Hidrologi Teknik*. Bandung: Insistut Teknologi Bandung
<https://ebooktekniksipil.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/cv1-hidrologi-teknik.pdf>