ANALISIS DEBIT BANJIR RANCANGAN DAERAH ALIRAN SUNGAI YEH HO DENGAN METODE HSS NAKAYASU

Made Widya Jayantari[1*] dan I Gusti Agung Putu Eryani[2]

[1] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Udayana, Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Bali*
e-mail: widyajayantari13@gmail.com
[2] Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Warmdaewa, Jl. Terompong No.24, Bali
e-mail: eryaniagung@gmail.com

ABSTRAK

Sumber daya air adalah elemen esensial bagi kehidupan manusia dan ekosistem yang memerlukan pengelolaan yang bijaksana untuk memastikan keberlanjutan. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan komponen kunci dalam strategi pengelolaan sumber daya air, karena berfungsi sebagai penerima, penyimpan, dan penyalur air hujan ke sungai utama. Pengelolaan DAS yang efektif dapat mengurangi risiko bencana seperti banjir dan kekeringan, serta menjaga kualitas air dan tanah. Salah satu parameter penting dalam pengelolaan ini adalah debit rancangan, yang digunakan untuk merancang infrastruktur seperti bendungan dan saluran irigasi. Ketidakakuratan dalam perhitungan debit rancangan dapat mengakibatkan kerugian ekonomi dan sosial yang signifikan.Penelitian ini fokus pada analisis debit rancangan di DAS Yeh Ho di Bali menggunakan metode HSS Nakayasu. DAS Yeh Ho, dengan luas 172,943 km², mengalami masalah banjir dan kekeringan akibat luas lahan kritis yang signifikan. Metode HSS Nakayasu dipilih karena kesederhanaannya dan kemampuannya memberikan estimasi akurat meskipun dengan data terbatas. Penelitian melibatkan pengolahan data curah hujan dari tiga stasiun pengamatan selama sepuluh tahun, analisis frekuensi, dan uji kesesuaian distribusi. Hasil analisis menunjukkan fluktuasi curah hujan maksimum dan memperkirakan debit banjir maksimum untuk berbagai periode ulang, dari 361,490 m³/detik pada periode ulang 2 tahun hingga 650,323 m³/detik pada periode ulang 1000 tahun. Hasil ini menekankan perlunya perencanaan dan pengelolaan DAS yang lebih baik untuk mengurangi dampak banjir dan memastikan keberlanjutan lingkungan serta ekonomi melalui perencanaan infrastruktur yang tepat dan konservasi sumber daya.

Kata Kunci: Banjir, HSS Nakayasu, Daerah Aliran Sungai, Air, Hujan.

1. PENDAHULUAN

Sumber daya air adalah salah satu elemen terpenting dalam kehidupan manusia dan lingkungan, yang keberadaannya harus dikelola dengan baik untuk mendukung berbagai aktivitas manusia seperti pertanian, industri, dan kebutuhan rumah tangga (Hasibuan & Redha, 2023; Qodriyatun, 2020; Sudipa et al., 2020). Pengelolaan yang tepat terhadap sumber daya air tidak hanya memastikan ketersediaan air yang cukup dan berkualitas untuk kebutuhan tersebut, tetapi juga memainkan peran penting dalam keberlanjutan ekosistem. Salah satu komponen utama dalam pengelolaan sumber daya air yang efektif adalah pengelolaan daerah aliran sungai (DAS), yang berfungsi sebagai wilayah penerima, penyimpan, dan penyalur air hujan ke sungai-sungai utama (Erawati, 2021). Dengan mengelola DAS secara berkelanjutan, kita dapat mengurangi risiko bencana alam seperti banjir dan kekeringan, serta menjaga kualitas air dan tanah. Hal ini pada gilirannya mendukung keberlanjutan lingkungan dan memastikan bahwa sumber daya air tetap tersedia bagi generasi mendatang, sehingga berbagai aktivitas manusia dan ekosistem dapat terus berjalan dengan baik.

Debit rancangan merupakan parameter penting dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, karena berperan vital dalam pencegahan banjir (Amarullah et al., 2023; Sa'ud, 2007). Menentukan debit rancangan yang akurat sangat krusial untuk merancang infrastruktur air seperti bendungan, saluran irigasi, dan sistem drainase, yang berfungsi mengendalikan aliran air dan meminimalkan risiko bencana. Ketidakakuratan dalam perhitungan debit rancangan dapat mengakibatkan kerugian besar, baik secara ekonomi maupun sosial. Secara ekonomi, kesalahan tersebut dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur, biaya perbaikan yang tinggi, dan gangguan pada aktivitas ekonomi yang bergantung pada ketersediaan air. Secara sosial, dampaknya bisa berupa kehilangan tempat tinggal, gangguan kesehatan, dan penurunan kualitas hidup akibat banjir atau kekeringan yang tidak terduga. Oleh karena itu, memastikan bahwa perhitungan debit rancangan dilakukan dengan tepat sangat penting untuk melindungi masyarakat dan mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

DAS Yeh Ho merupakan salah satu DAS potensial di Provinsi Bali dengan tipe aliran sungai Perennial. Menurut Balai Wilayah Sungai Bali-Penida (2012), luas wilayah kritis DAS Yeh Ho adalah 28,57 km² potensial kritis, 56,35 km² semi kritis, 83,18 km² kritis, dan 0,58 km² sangat kritis (BWS Bali-Penida, 2012). Besarnya lahan kritis di DAS Yeh Ho menyebabkan terjadinya banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Dari tahun 2016 hingga 2023, secara berulang kondisi air sungai Tukad Yeh Ho meluap akibat intensitas hujan yang cukup tinggi, hingga

meluap hingga ke badan jalan (baliprawara.com, 2023).

Metode HSS Nakayasu adalah salah satu metode yang digunakan untuk meramalkan respon hidrologi dari suatu DAS terhadap curah hujan. Metode ini dikembangkan oleh Nakayasu dan telah terbukti efektif dalam memodelkan hidrograf aliran puncak. Keunggulan metode ini terletak pada kesederhanaan dan kemampuannya untuk memberikan estimasi yang cukup akurat dengan data yang terbatas (Dewi et al., 2016; Natakusumah et al., 2011; Sutapa, 2005). Analisis debit rancangan pada daerah aliran sungai Yeh Ho dengan metode HSS Nakayasu sangat penting untuk keberlanjutan lingkungan dan pengelolaan sumber daya air. Metode HSS Nakayasu memungkinkan estimasi yang lebih akurat terhadap respons aliran sungai terhadap curah hujan, sehingga dapat membantu dalam merancang infrastruktur pengendalian banjir yang efektif. Selain itu, hasil analisis ini juga bermanfaat untuk perencanaan tata guna lahan yang berkelanjutan, karena memungkinkan identifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap banjir. Dengan demikian, penggunaan metode HSS Nakayasu dalam analisis debit rancangan tidak hanya mendukung pengurangan risiko bencana alam, tetapi juga mendukung pembangunan berkelanjutan di daerah aliran sungai Yeh Ho.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Curah Hujan Kawasan

Untuk menentukan hujan rerata pada suatu daerah digunakan metode- metode khusus karena stasiun pencatat hujan hanya memberikan data hujan di titik stasiun tersebut berada. Metode yang digunakan dipilih dengan mempertimbangkan hal-hal berikut (Indriyanti et al., 2023).

1. Apabila stasiun pencatat hujan berjarak kurang dari 10 km dari lokasi maka data hujan pada stasiun tersebut dapat digunakan dalam perhitungan.
2. Apabila tidak ada stasiun pencatat hujan dengan jarak kurang dari 10 km, maka digunakan stasiun pencatat hujan dengan jarak 10-20 km dengan syarat minimal 2 stasiun pencatat hujan.
3. Apabila tidak ada stasiun pencatat hujan dengan jarak 10-20 km, maka digunakan stasiun hujan dengan jarak kurang dari 50 km, dengan syarat minimal 3 stasiun hujan.

Metode Perhitungan Curah Hujan Kawasan

1. Metode Aritmatik (Aljabar)
   Metode aritmatik atau aljabar adalah metode yang paling sederhana, dimana pengukuran yang dilakukan adalah dengan merata-ratakan hujan di seluruh DAS. Stasiun hujan yang digunakan untuk menghitung dengan metode ini adalah yang berada di dalam DAS, akan tetapi stasiun yang berada di luar DAS dan jaraknya cukup berdekatan masih bisa diperhitungkan. Metode aljabar ini memberikan hasil yang tidak teliti, metode ini memberikan hasil yang cukup baik jika penyebaran hujan merata, serta hujan tidak terlalu bervariasi (Aridipa, Tanti and Basysyar, 2017). Perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode aljabar dapat dihitung dengan Persamaan 1.

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

   Keterangan:

   $\bar{R}$ = Hujan rerata di suatu DAS (mm)
   R_1, R_2, R_n = Hujan di tiap-tiap stasiun (mm)
   n = jumlah stasiun

2. Metode Poligon Thiessen
   Metode ini digunakan untuk menghitung bobot masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Metode ini digunakan bila penyebaran hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode poligon thiessen dapat dihitung dengan Persamaan 2.

$$\bar{R} = \frac{R_1 A_1 + R_2 A_2 + \cdots + R_n A_n}{\sum A} \quad (2)$$

   Keterangan:
   $\bar{R}$ = Curah hujan rerata di suatu DAS (mm)
   R_1, R_2, R_n = Hujan di tiap-tiap stasiun (mm)
   A_1, A_2, A_n = Luas yang dibatasi tiap polygon (km)
   $\sum A$ = Luas total keseluruhan stasiun (km)

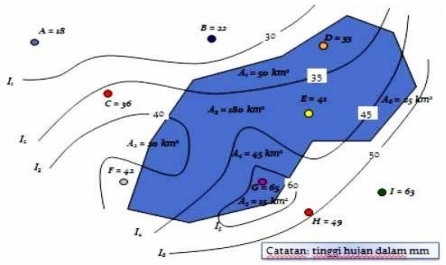
3. Metode Isohiet
   Pada prinsipnya isohiet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan tinggi/kedalaman hujan yang

sama, kesulitan dari penggunaan metode ini adalah jika jumlah stasiun di dalam dan sekitar DAS terlalu sedikit. Hal tersebut akan mengakibatkan kesulitan dalam menginterpolasi seperti pada Gambar 1. Perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode isohiet dapat dihitung dengan Persamaan 3.

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} x_1 + \frac{R_2 + R_3}{2} x_2 + \cdots + \frac{R_n + R_{n+1}}{2} x_n}{\sum A} \quad (3)$$

Keterangan:

$\bar{R}$ = Curah hujan rerata di suatu DAS (mm)
R_1, R_2, R_n = Garis isohiet tinggi hujan (mm)
A_1, A_2, A_n = Luas yang dibatasi tiap garis (km)
ΣA = Luas total keseluruhan stasiun (km)



Gambar 1. Ilustrasi untuk Metode Isohiet
Sumber: (Pewedhi, 2019)

Curah Rencana Kala Ulang

Dalam perhitungan curah hujan rencana ini menggunakan metode analisis frekuensi. Hujan rencana *(design event)* adalah suatu kejadian hujan dengan intensitas atau durasi tertentu. Sedangkan kala ulang *(return period)* adalah interval waktu suatu kejadian banjir dengan besar tertentu berulang kejadiannya. Analisis frekuensi adalah prosedur untuk memperkirakan frekuensi suatu kejadian pada masa lalu atau masa yang akan datang. Prosedur ini digunakan untuk menentukan hujan rencana dalam berbagai kala ulang berdasarkan distribusi yang paling sesuai antara distribusi hujan secara teoritik dan empirik.

a. Parameter Statistik

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata-rata (), deviasi standar (S), koefisien variasi (Cv), koefisien kemencengan (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck). Sementara untuk memperoleh harga parameter statistik dilakukan perhitungan dengan rumus dasar sebagai berikut (Soemarto,
1987).

b. Metode Distribusi

Berdasarkan parameter tersebut, maka kita dapat mencari beberapa metode distribusi. Syarat yang digunakan untuk memilih jenis distribusi adalah seperti Tabel 1.

Tabel 1. Pedoman Pemilihan Jenis Sebaran

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	Cs 0 Ck 0
Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3\ Cv = 0.4$ $Ck = Cv^8+6Cv^6 +15Cv^4+16Cv^2+3=3.3$
Gumbel	Cs 1.14

	Ck 5.4
Log Pearson Type III	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distibusi sebelumnya

Sumber: (Kereh et al., 2018)

c. Distribusi Log Pearson Type III

Distribusi Log Pearson Tipe III digunakan untuk analisis variabel hidrologi dengan nilai variat minimum misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (low flows). Distribusi Log Pearson Type III, mempunyai koefisien kemencengan $C_S \neq 0$ (Indarto, 2016).

Rata-rata:

$$\log x = \frac{\sum_{i=1}^{n} \log Xi}{n} \quad (3)$$

Standar Deviasi :

$$S\log x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\log Xi - \log x)^2}{n-1}} \quad (4)$$

Koefisien Kemencengan (Skewness):

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\log Xi - \log x)^3}{(n-1)(n-2)(S\log x)^3} \quad (5)$$

Koefisien Kurtosis (Curtosis) :

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{i=1}^{n} (\log Xi - \log x)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S\log x)^4} \quad (6)$$

Koefisien Variasi:

$$Cv = \frac{S\log x}{\log x} \quad (7)$$

Curah hujan rencana periode ulang t tahun:

$$\log X_t = \log x + K \cdot S\log x \quad (8)$$

Keterangan:

Log Xt = curah hujan rencana dengan periode ulang t tahun (mm).
$\log x$ = curah hujan rata-rata (mm).
$S\log x$ = standar deviasi.
K = faktor frekuensi.
Cs = koefisien kemencengan.
Ck = koefisien kurtosis.
Cv = koefisien variasi

Uji Kesesuaian

Uji kesesuaian distribusi curah hujan dimaksudkan untuk menentukan kecocokan *(the goodness of fittest test)* distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan. Untuk menggambarkan hal tersebut maka dibutuhkan pengujian dengan parameter. Parameter yang digunakan adalah Uji Chi-kuadrat dan Uji Smirnov-kolmogorov

1. Uji Chi-kuadrat
   Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai chi square (X^2) dengan nilai chi square kritis (X^2_{cr}) (Soewarno, 1995).
2. Uji Smirnov-kolmogorov
   Uji Smirnov-kolmogorov ini biasanya digunakan untuk menguji simpangan/selisih terbesar antara peluang pengamatan (empiris) dengan peluang teoritis. Uji Smirnov-kolmogorov sering disebut juga dengan uji non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Debit Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang (rata-rata) yang sudah ditentukan yang dapat dialirkan tanpa membahayakan proyek irigasi dan stabilitas bangunanbangunannya.

Debit banjir rencana ditetapkan dengan cara menganalisis debit puncak, dan biasanya dihitung berdasarkan hasil pengamatan harian tinggi muka air.

1. Waktu Konsentrasi
   Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Tempat yang paling jauh berhubungan dengan suatu tempat yang membutuhkan waktu aliran yang paling lama.
2. Debit Banjir Rencana Satu Satuan

Dalam analisis hujan-aliran untuk memperkirakan debit banjir rencana diperlukan masukan hujan rencana ke dalam suatu sistem DAS. Hujan rencana tersebut dapat berupa kedalaman hujan di suatu titik atau hyetograf hujan rencana yang merupakan distribusi hujan sebagai fungsi waktu selama hujan deras. perencanaan bangunan air didasarkan pada debit banjir rencana yang diperoleh dari analisis hujan-aliran tersebut, yang bisa berupa banjir rencana dengan periode ulang tertentu.

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu

Hidrograf satuan sintetis Nakayasu dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang (Soemarto, 1987). Penggunaan metode ini memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya, seperti :

1) Tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak hidrograf (*time of peak*)
2) Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*)
3) Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
4) Luas daerah aliran sungai
5) Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)

Bentuk persamaan HSS Nakayasu adalah sebagai berikut.

$$Qp = \frac{CA \cdot Ro}{3{,}6(0{,}3Tp + T_{0,3})} \quad (9)$$

Keterangan:

Qp	= debit puncak banjir (m^3/dt)
Ro	= hujan satuan (mm)
Tp	= tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
$T_{0,3}$	= waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak (jam)
CA	= luas daerah pengaliran sampai outlet (km^2)

Untuk menentukan Tp dan $T_{0,3}$ digunakan pendekatan rumus sebagai berikut.

Tp	= tg + 0,8 tr	(10)
$T_{0,3}$	= α tg	(11)
Tr	= 0,5 tg sampai tg	(12)

tg adalah time lag yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam). tg dihitung dengan ketentuan sebagai berikut.

sungai dengan panjang alur L > 15 km : tg =0,4 + 0,058 L

sungai dengan panjang alur L < 15 km : tg = 0,21 $L^{0,7}$

Perhitungan $T_{0,3}$ menggunakan ketentuan:

α = 2 pada daerah pengaliran biasa

α = 1,5 pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat

α = 3 pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

Pada waku naik : 0 < t < Tp

$$Qa = (t/Tp)^{2,4} \quad (13)$$

dimana Qa adalah limpasan sebelum mencapai debit puncak (m^3/dt)

Pada kurva turun (*decreasing limb*)

a. selang nilai : $0 \le t \le (Tp + T_{0,3})$

$$Qd_1 = Qp.0{,}3^{\frac{t-Tp}{T_{0,3}}} \quad (14)$$

b. selang nilai : $(Tp + T_{0,3}) \le t \le (Tp + T_{0,3} + 1{,}5\ T_{0,3})$

$$Qd_2 = Qp.0{,}3^{\frac{t-Tp-0{,}5T_{0,3}}{1{,}5T_{0,3}}} \quad (15)$$

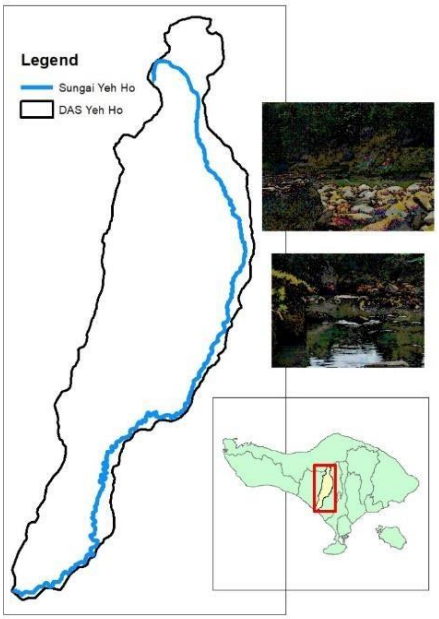
c. selang nilai : $t > (Tp + T_{0,3} + 1{,}5\ T_{0,3})$

$$Qd_3 = Qp.0{,}3^{\frac{tTp\,1{,}5T_{0,3}}{2T_{0,3}}}$$

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Tukad Yeh Ho merupakan sungai yang potensial dengan luas DAS 172,943 km^2, dengan panjang sungai utama 45,145 km dan merupakan sungai yang melintasi 2 Kabupaten Tabanan dan Buleleng. Sepanjang sungai Tukad Yeh Ho dan anak-anak sungainya terdapat 19 bendung irigasi dan 26 empelan, dengan luas lahan irigasi 8.829 ha. DAS Yeh Ho (Gambar 2) merupakan salah satu potensi sumber daya air yang ada di kabupaten Tabanan yang dimanfaatkan antara lain untuk irigasi dan air baku bagi sebagian besar wilayah terutama di kabupaten Tabanan. Oleh karena itu keberadaan DAS Yeh Ho sangat penting terutama untuk menunjang produksi pertanian di Kabupaten Tabanan (BWS Bali-Penida, 2012).



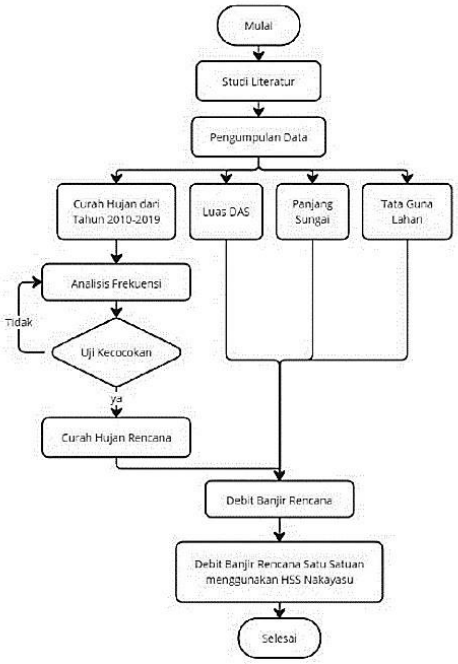
Gambar 2. Lokasi Penelitian

Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data curah hujan dari 3 stasiun curah hujan yaitu Stasiun Benel, Stasiun Dauh Waru, dan Stasiun Pohsanten dengan rentang waktu 10 tahun terakhir yaitu mulai tahun 2010 – 2019. Selain data curah hujan, data yang digunakan berupa kondisi daerah aliran sungai (DAS) seperti luas DAS, panjang sungai dan juga tataguna lahan yang digunakan untuk menentukan koefisien pengaliran.

Metode Analisis Data

Penelitian ini diawali dengan pengolahan data curah hujan, dimulai dengan pengisian data hujan yang hilang, uji konsistensi ketiga stasiun curah hujan kemudian dihitung curah hujan kawasan dengan metode rata-rata aritmatik seperti Persamaan 1. Kemudian setelah didapat curah hujan kawasan kemudian dilakukan analisis frekuensi (Persamaan 4-8) dan uji kesesuaian. Setelah distribusi data sudah cocok, kemudian dihitung curah hujan rencana kala ulang. Setelah mendapat curah hujan rencana kala ulang, dihitung debit banjir rencana menggunakan metode HSS Nakayasu (Persamaan 9-16). Alur analisis data dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengisian Data Hujan Kosong

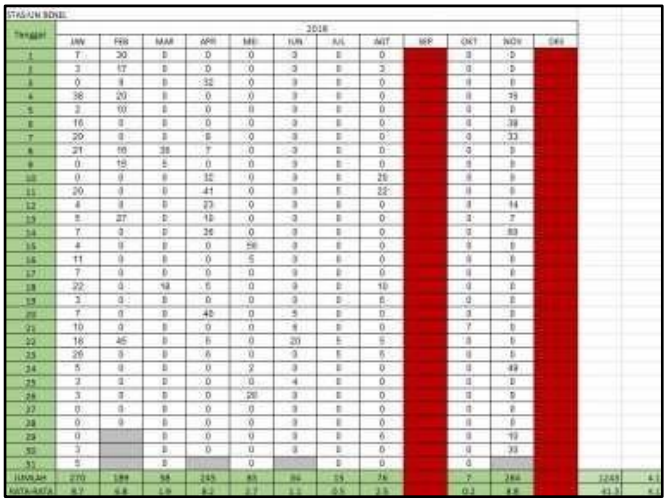
Data yang akan dianalisis merupakan data curah hujan dari tiga stasiun pengamatan yang berbeda, yaitu Stasiun Benel, Stasiun Dauh Waru, dan Stasiun Pohsanten dengan rentang waktu 10 tahun terakhir yaitu mulai tahun 2010 - 2019. Namun, ditemukan kerusakan data pada tahun 2018 tepatnya pada bulan September dan Desember pada salah satu stasiun pengamatan, yaitu pada Stasiun Benel. Sehingga, sebelum melakukan perhitungan selanjutnya diperlukan untuk menganalisis data hujan yang hilang tersebut. Pengisian data hujan yang hilang dapat dilakukan dengan metode Normal Ratio.

$$\frac{\square\square_x}{\square_x} = \frac{1}{\square} x \left(\frac{\square\square_1}{\square_1} + \frac{\square\square_2}{\square_2} + \cdots + \frac{\square\square_n}{\square_n}\right) \quad (17)$$

Keterangan:

$\square_X$ = Hujan yang hilang di stasiun x
$\square\square_X$ = Rata-rata hujan tahunan di stasiun x
$\square_1, \square_2, \ldots \square_\square$ = Hujan tahunan di stasiun di sekitar stasiun x
$\square\square_1, \square\square_2, \ldots \square\square_\square$ = Rata-rata hujan tahunan di stasiun sekitar stasiun x
$\square$ = Jumlah stasiun hujan di sekitar stasiun x

Berikut merupakan data curah hujan yang hilang pada Stasiun Benel di tahun 2018.

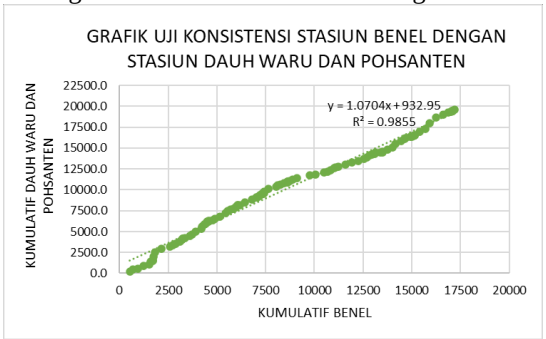


Gambar 4. Pengisian Data Hujan Hilang di Stasiun Benel Tahun 2018

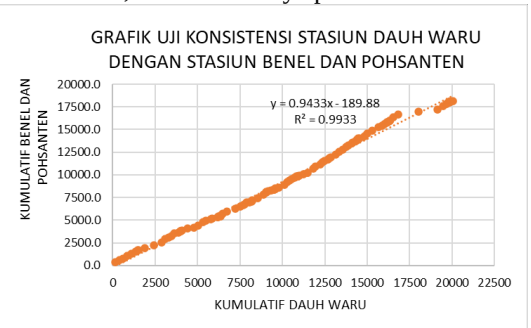
Uji Konsistensi

Setelah mendapatkan data yang lengkap dari ketiga stasiun yang akan digunakan dalam perhitungan hujan kawasan, maka langkah selanjutnya adalah menguji kekonsistenan data. Uji konsistensi data dilakukan dengan metode Kurva Massa Ganda yaitu membandingkan kumulatif satu stasiun dengan kumulatif rata- rata dari dua stasiun lainnya. Apabila ada penyimpangan, akan terlihat dalam grafik hubungannya. Serta, apabila terlihat ada yang menyimpang, salah satu stasiun tersebut dapat dihilangkan.

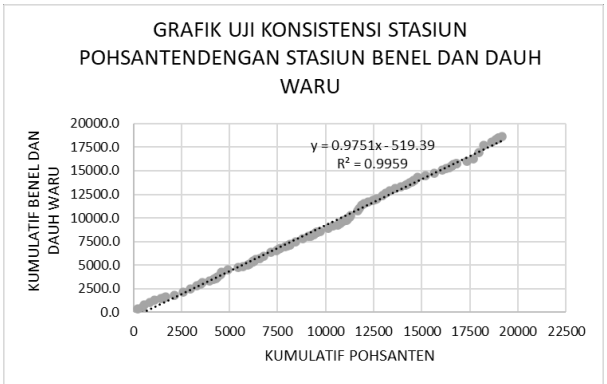
Setelah mendapat perhitungan kumulatif curah hujan dan kumulatif dari rata-rata setiap stasiun dapat dilihat perbandingan dari kumulatif stasiun 1 dengan kumulatif rata-rata stasiun 2,3 dan seterusnya pada Gambar 5 a-c.



Gambar 5a. Uji Konsistensi di Stasiun Benel



Gambar 5b. Uji Konsistensi di Stasiun Dauh Waru



Gambar 5c. Uji Konsistensi di Stasiun Poh Santen

Berdasarkan hasil uji konsistensi dapat dilihat jika ketiga stasiun konsisten dan memiliki karakteristik yang sama dibuktikan pada nilai $R^2 > 0{,}5$ disetiap stasiun. R^2 memiliki arti kekonsistenan data yang berarti jika nilai R^2 semakin mendekati 1 maka data akan semakin konsisten. Sehingga ketiga stasiun dikatakan konsisten dan dapat digunakan dalam perhitungan hujan selanjutnya.

Curah Hujan Kawasan Maksimum

Setelah data dinyatakan konsisten, maka perhitungan dapat dilanjutkan untuk mencari curah hujan kawasan. Dalam menentukan curah hujan kawasan digunakan metode Aritmatika yaitu mencari rata-rata curah hujan di seluruh stasiun. Dari hasil perhitungan hujan kawasan tahun 2010-2019, didapati curah hujan maksimum tiap tahunnya seperti Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan data curah hujan maksimum tahunan (dalam milimeter) selama periode 2010 hingga 2019. Pada tahun 2010, curah hujan maksimum tercatat sebesar 35 mm, meningkat menjadi 41 mm pada tahun 2011. Tahun 2012 mengalami sedikit penurunan dengan curah hujan maksimum sebesar 38 mm. Pada tahun 2013, terjadi peningkatan signifikan menjadi 51 mm, yang terus berlanjut hingga 55 mm pada tahun 2014. Namun, tahun 2015 mencatat penurunan kembali ke 38 mm. Curah hujan maksimum mencapai puncaknya pada tahun 2016 dan 2017, dengan nilai yang hampir sama yaitu 69 mm dan 73 mm. Tahun 2018 juga mencatat curah hujan maksimum sebesar 73 mm, dan sedikit menurun menjadi 68 mm pada tahun 2019. Data ini menunjukkan fluktuasi tahunan dalam curah hujan maksimum, dengan tren peningkatan yang cukup signifikan terutama sejak tahun 2016.

Tabel 2. Curah Hujan Kawasan Maksimum

Tahun	Hujan Max/Xi (mm)
2010	35
2011	41
2010	38
2013	51
2014	55
2015	38
2016	69
2017	73
2018	73
2019	68

Curah Hujan Rancangan

Curah Hujan Rancangan merupakan suatu curah hujan maksimum dalam kala ulang tertentu. Kala ulang dapat dicari dengan berbagai rumus sesuai hasil distribusi dari curah hujan yang telah dihitung. Berdasarkan Tabel 3, didapatkan bahwa distribusi yang cocok adalah distribusi Log Pearson Type III. Setelah mendapatkan metode distribusi yang cocok kemudian dilakukan pengujian kesesuaian distribusi (Tabel 4-5) dan dihitung curah hujan rencana sesuai kala ulang yang terlihat pada Tabel 6.

Tabel 3. Pemilihan Sebaran

No	Jenis Sebaran	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Normal	Cs » 0	0.07	Tidak Memenuhi
		Ck » 0	0.21	Tidak Memenuhi
2	Log Normal	Cs = Cv3 +3 Cv = 0.4	-0.67	Tidak Memenuhi
		Ck = Cv^8+6Cv^6+15Cv^4+16Cv^2+3=3.3	0.29	Tidak Memenuhi
3	Gumbel	Cs » 1.14	0.07	Tidak Memenuhi
		Ck » 5.4	0.21	Tidak Memenuhi
4	**Log Pearson Tipe III**	**Selain dari nilai diatas**		**Memenuhi**

Tabel 4. Uji Chi Square

P (interval kelas)	EF (n/ (1 + 3,322 log n))	OF (Banyaknya data dalam interval)	EF-OF	$(EF-OF)^2/EF$
35 - 44.5	2.5	4	-1.500	0.90
44.5 - 54	2.5	1	1.500	0.90
54 - 63.5	2.5	1	1.5	0.90
63.5 - 73	2.5	4	-1.5	0.90
Jumlah	**10**	**10**	**0**	**3.60**

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh nilai f hitung sebesar 3,60, kemudian dibandingkan dengan nilai f tabel chi kuadrat α= 5% ≈ 0.05 dan DF/dk =3 maka f tabel sebesar 7,815, sehingga metode distribusi Log pearson tipe III sesuai karena f hitung< f tabel.

Tabel 5. Uji Smirnov-Kolmogorov

i	Log Xi(terbesar-terkecil)	P(x) =i/(n+1)	f(t)	y	P'(Xi)	ΔP

1	1.86	0.09	1.05	0.79	0.21	0.12
2	1.86	0.18	1.05	0.79	0.21	0.03
3	1.84	0.27	0.85	0.73	0.27	-0.01
4	1.83	0.36	0.80	0.72	0.28	-0.08
5	1.74	0.45	0.06	0.50	0.50	0.04
6	1.71	0.55	-0.21	0.42	0.58	0.03
7	1.61	0.64	-0.97	0.20	0.80	0.16
8	1.58	0.73	-1.24	0.12	0.88	0.15
9	1.58	0.82	-1.24	0.12	0.88	0.06
10	1.54	0.91	-1.53	0.04	0.96	0.05
		Max				**0.16**

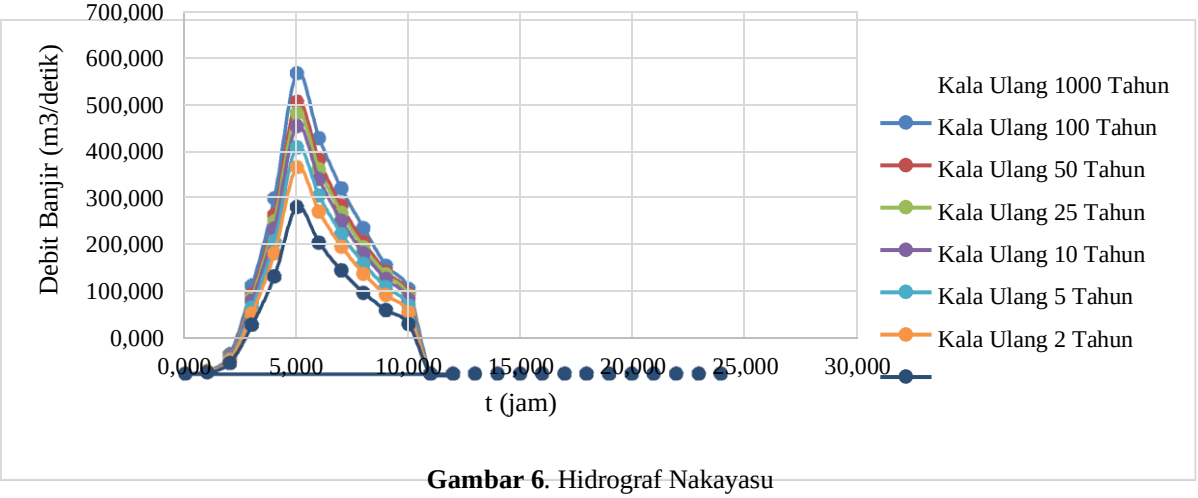
Berdasarkan Tabel 5, ΔP maksimum didapat sebesar 0,16. Dengan $\alpha = 5\% \approx 0.05$ dan n = 10 maka ΔP maks tabel adalah 0,41. Kemudian dibandingkan antara ΔP hitung dengan ΔP tabel dimana ΔPhitung< ΔPtabel sehingga metode distribusi Log pearson tipe III sesuai.

Tabel 6. Curah Hujan Rencana

Tr	Cs	K	Log Xt	Xt(mm/hari)
2	-0.674	0.112	1.747	55.847
5	-0.674	0.857	1.839	69.053
10	-0.674	1.187	1.880	75.865
25	-0.674	1.498	1.919	82.890
50	-0.674	1.678	1.941	87.235
100	-0.674	1.825	1.959	90.975
1000	-0.674	2.174	2.002	100.468

Perhitungan Debit Puncak Metode Hidrograf Nakayasu

Hidrograf adalah suatu kurva yang memberikan hubungan antara parameter aliran dengan waktu, parameter tersebut dapat berupa kedalaman (ketinggian) aliran atau laju aliran. Hidrograf menunjukkan respon daerah aliran sungai (DAS) secara keseluruhan terhadap data masukan curah hujan. Nakayasu dari Jepang, telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Ia membuat rumus hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya. Rumus tersebut adalah sebagai berikut (Soemarto, 1987) :Setelah mendapatkan nilai dari Qp, kita mencari nilai debit untuk bagian lengkung naik *(rising limb)* hidrograf satuan (Qa) dan bagian lengkung turun *(decreasing limb)* hidrograf satuan (Qd) dengan jam yang dimulai dari jam ke 0 sampai jam ke 24. Dari data debit banjir satu satuan ini dapat membentuk hidrograf satuan



Gambar 6. Hidrograf Nakayasu

Banjir Maksimum

Tabel 7 menggambarkan debit banjir maksimum (dalam meter kubik per detik) untuk berbagai periode ulang. Periode ulang 2 tahun memiliki debit banjir maksimum sebesar 361.490 m^3/detik, sementara untuk periode ulang 5 tahun,

debit banjir maksimum naik menjadi 446.974 m³/detik. Untuk periode ulang 10 tahun, debit banjir maksimum sedikit lebih rendah, yaitu 385.984 m³/detik. Debit banjir maksimum meningkat signifikan pada periode ulang 25 tahun menjadi 536.541 m³/detik dan terus naik pada periode ulang 50 tahun sebesar 564.666 m³/detik. Pada periode ulang 100 tahun, debit banjir maksimum mencapai 588.875 m³/detik, dan untuk periode ulang 1000 tahun, debit banjir maksimum tertinggi tercatat sebesar 650.323 m³/detik. Data ini menunjukkan bahwa semakin panjang periode ulang, semakin besar debit banjir maksimum yang diharapkan, mencerminkan probabilitas yang lebih rendah namun dengan potensi banjir yang lebih besar.

Tabel 7. Pedoman Pemilihan Jenis Sebaran

Tr	Q Banjir(m^3/detik)
2	361.490
5	446.974
10	385.984
25	536.541
50	564.666
100	588.875
1000	650.323

Debit banjir maksimum yang meningkat dengan periode ulang mengindikasikan bahwa risiko banjir akan semakin besar seiring berjalannya waktu. Ini mengharuskan wilayah tersebut untuk mempersiapkan diri menghadapi kemungkinan banjir yang lebih ekstrem di masa depan. Persiapan ini melibatkan perencanaan dan pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang efektif, termasuk pembangunan infrastruktur pengendalian banjir seperti tanggul, saluran pembuangan, dan sistem peringatan dini. Selain itu, upaya konservasi seperti pemeliharaan hutan dan perlindungan tanah juga penting untuk mengurangi aliran air yang berlebihan. Penggunaan rumus hidrograf Nakayasu, yang merupakan metode statistik untuk memodelkan aliran sungai berdasarkan data curah hujan dan karakteristik DAS, dapat menjadi alat yang sangat berguna dalam meramalkan dan merencanakan bagaimana DAS akan merespons curah hujan. Dengan memanfaatkan rumus ini, perencana dapat membuat strategi yang lebih baik untuk mengurangi dampak banjir dan memastikan keberlanjutan lingkungan serta ekonomi.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit rencana DAS Yeh Ho dengan memanfaatkan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu. Metode ini digunakan untuk menghitung debit puncak banjir berdasarkan curah hujan rencana dan karakteristik hidrologis DAS. Analisis dimulai dengan pengolahan data curah hujan dari tiga stasiun pengamatan selama periode 2010-2019, termasuk pengisian data hilang dan uji konsistensi data. Selanjutnya, curah hujan kawasan dihitung menggunakan metode Poligon Thiessen. Hasil perhitungan menunjukkan adanya fluktuasi curah hujan maksimum tahunan dengan tren peningkatan signifikan setelah tahun 2016. Berdasarkan analisis frekuensi, distribusi Log Pearson Type III dipilih sebagai model yang sesuai untuk curah hujan rencana kala ulang. Pengujian kesesuaian distribusi menggunakan Uji Chi-Square dan Uji Smirnov-Kolmogorov menunjukkan bahwa distribusi ini cocok untuk data yang ada. Akhirnya, debit puncak banjir dihitung dengan metode HSS Nakayasu yang melibatkan parameter seperti waktu puncak dan waktu penurunan debit. Hasil analisis memberikan informasi yang berguna untuk perencanaan dan manajemen risiko banjir di DAS Yeh Ho, serta dapat digunakan untuk perancangan infrastruktur yang lebih baik dan mitigasi bencana.

DAFTAR PUSTAKA

Amarullah, S., Maulidi, A., Syarifudin, E., & Fauzi, A. (2023). Analisis Perencanaan Sistem Drainase Sebagai Upaya Penanggulangan Banjir Di Kecamatan Tallo Kota Makassar. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, *10*(10), 4607–4617.

Aridipa, Tanti and Basysyar, R. (2017). *Penanganan Genangan Daerah Layanan Drainase Perumahan Tambak Rejo Indah Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo* [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. http://repository.its.ac.id/44217/

baliprawara.com. (2023). *Intensitas Hujan Tinggi, Tukad Yeh Ho Meluap Hingga Sebabkan Banjir di Tabanan*. https://baliprawara.com/intensitas-hujan-tinggi-tukad-yeh-ho-meluap-hingga-sebabkan-banjir-di-tabanan/

BWS Bali-Penida. (2012). *Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air untuk Wilayah Sungai Bali - Penida (Tahap I)*.

Dewi, R., Limantara, L. M., & Soetopo, W. (2016). Analisis Parameter Alfa Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu di

Sub Das Lesti. *Jurnal Teknik Pengairan*, *7*(1), 107–116. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31365.09441
Erawati, N. K. A. (2021). *Pengelolaan Sumber Daya Alam Dan Lingkungan Daerah Aliran Sungai Di Kota Denpasar* (Issue l).
Hasibuan, M. R., & Redha. (2023). *Evaluasi Efisiensi Penggunaan Air dalam Pertanian Berbasi TEknologi Irigasi Modern*.
Indarto. (2016). *Hidrologi, Metode Analisis dan Tool untuk Intepretasi Hidrograf Aliran*. Bumi Aksara.
Indriyanti, Kasmawati, Agustiansa, R., SA, A. R. A., Antaria, S., Latif, F., & Gaffar, F. (2023). Analisis Kebutuhan Air Pada Irigasi Sanrego Kecamatan Kahu Kabupaten Bone. *Jurnal Teknik Hidro*, *16*(2), 54–61.
Kereh, I. E., Alex, B., & Umarauw, J. S. F. (2018). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Palaus Di Kelurahan Lowu I Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Sipil Statik*, *6*(4), 235–346.
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
Pewedhi. (2019). *Penentuan Hujan Kawasan (Daerah Aliran Sungai)*. https://pewedhi.wordpress.com/2017/02/28/penentuan-hujan-kawasan-daerah-aliran-sungai/
Qodriyatun, S. N. (2020). *Ketahanan Air Di Tengah*. *2045*(18).
Sa'ud, I. (2007). Kajian Penanggulangan Banjir di Wilayah Pematusan Surabaya Barat. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, *3*(1), 1. https://doi.org/10.12962/j12345678.v3i1.2562
Soemarto, C. D. (1987). *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional.
Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Nova.
Sudipa, N., Mahendra, M. S., Adnyana, W. S., & Pujaastawa, I. B. (2020). Daya Dukung Air di Kawasan Pariwisata Nusa Penida, Bali. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, *7*(3), 117–123. https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2020.007.03.4
Sutapa, I. W. (2005). Kajian Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Untuk Perhitungan Debit Banjir Rancangan Di Daerah Aliran Sungai Kodina. *Majalah Ilmiah Mektek*, *7*, 35–40.