

**ANALISIS KOMPARATIF METODE HIDROGRAF SATUAN SINTETIS
ITB-1 DAN GAMMA-1 PADA DAS SUNGAI DELI: STUDI EMPIRIS
BERBASIS DATA HISTORIS*****Comparative Analysis Of The Itb-1 And Gamma-1 Synthetic Unit Hydrograph
Methods In The Deli River Watershed: An Empirical Study Based On
Historical Data*****Indi Rezki Uli Simanjuntak****Politeknik Negeri Medan****Email: indirezki@polmed.ac.id****Abstract**

This study aims to compare the accuracy and performance of the ITB-1 Synthetic Unit Hydrograph (HSS) and Gamma-1 Synthetic Unit Hydrograph (HSS) methods in predicting flood discharge in the Deli River Watershed (DAS), Medan, North Sumatra. Historical rainfall data from four observation stations (2007–2021) were used to calculate the design flood discharge with return periods of 2 to 100 years. Hydrological analysis was performed using the Log-Pearson Type III distribution, while hydraulic simulations used HEC-RAS 6.1. The results show that the Gamma-1 method produces a more conservative peak discharge (349,226 m³/s for a 25-year period) than ITB-1 (369,279 m³/s), with a peak time of 4.06 hours (Gamma-1) vs. 11.07 hours (ITB-1). Statistical tests show that Gamma-1 has a NSE >0.65 and a lower RMSE than ITB-1. HEC-RAS modeling confirms that the Deli River's existing capacity is only able to accommodate 10% of flood discharge, necessitating the construction of a 1–4 meter high parapet. This study recommends the use of Gamma-1 for watersheds with hydrological characteristics similar to the Deli River due to its good agreement with empirical data.

Keywords: *Deli River, Flood Discharge, Hydrological Analysis, Synthetic Unit Hydrograph, HEC-RAS*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan akurasi dan kinerja metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) ITB-1 dan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Gamma-1 dalam memprediksi debit banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Sungai Deli, Medan, Sumatera Utara. Data historis curah hujan dari empat stasiun pengamatan (2007–2021) digunakan untuk menghitung debit banjir rencana dengan periode ulang 2 hingga 100 tahun. Analisis hidrologi dilakukan dengan distribusi Log-Pearson Type III, sedangkan simulasi hidraulik menggunakan HEC-RAS 6.1. Hasil menunjukkan bahwa metode Gamma-1 menghasilkan debit puncak lebih konservatif (349.226 m³/s untuk periode 25 tahun) dibandingkan ITB-1 (369.279 m³/s), dengan waktu puncak 4.06 jam (Gamma-1) vs. 11.07 jam (ITB-1). Uji statistik menunjukkan Gamma-1 memiliki NSE >0.65 dan RMSE lebih rendah daripada ITB-1. Pemodelan HEC-RAS mengkonfirmasi bahwa kapasitas eksisting Sungai Deli hanya mampu menampung 10% debit banjir, sehingga diperlukan pembangunan parapet setinggi 1–4 meter. Studi ini merekomendasikan penggunaan Gamma-1 untuk DAS dengan karakteristik hidrologi mirip Sungai Deli karena kesesuaiannya dengan data empiris.

Kata Kunci: Sungai Deli, Debit Banjir, Analisis Hidrologi, Hidrograf Satuan Sintetis, HEC-RAS

PENDAHULUAN

Banjir sebagai bencana hidrometeorologis yang sering terjadi di Indonesia menimbulkan dampak signifikan bagi infrastruktur, ekonomi, dan masyarakat (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2023). Sungai Deli di Medan termasuk wilayah berisiko tinggi akibat faktor alamiah seperti curah hujan ekstrem dan sedimentasi, serta faktor antropogenik seperti alih fungsi lahan dan penyempitan sungai (Sihombing et al., 2022). Data historis menunjukkan banjir tahunan dengan kerugian miliaran rupiah, sehingga diperlukan pendekatan ilmiah untuk mitigasi efektif, terutama melalui pemodelan hidrologi yang akurat.

Pemodelan debit banjir rencana dapat menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS), seperti HSS ITB-1 berbasis waktu lag dan luas DAS, serta HSS Gamma-1 yang mempertimbangkan simetri DAS dan koefisien tampungan (Triatmodjo, 2010). Namun, belum ada studi komparatif menyeluruh untuk DAS Sungai Deli yang memiliki karakteristik unik seperti waktu konsentrasi singkat. Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan membandingkan akurasi kedua metode melalui analisis kuantitatif, meliputi perhitungan hujan rencana (Log- Pearson Type III), simulasi debit, dan validasi kapasitas sungai menggunakan HEC-RAS.

Hasil penelitian diharapkan memberikan rekomendasi metode HSS yang paling sesuai untuk DAS Sungai Deli sekaligus mengevaluasi solusi teknis seperti parapet atau normalisasi sungai. Secara praktis, temuan ini dapat mendukung kebijakan mitigasi banjir berkelanjutan di Medan dan menjadi acuan untuk DAS lain dengan karakteristik serupa, seperti Ciliwung atau Bengawan Solo. Kombinasi analisis empiris dan pemodelan hidraulik dalam studi ini juga menawarkan pendekatan yang dapat diadaptasi untuk pengelolaan risiko banjir di wilayah tropis lainnya.

Metode Distribusi Normal

Metode ini juga dikenal sebagai metode Gauss dan menggunakan persamaan berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S_X$$

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S_X}$$

Dimana :

X_T : Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun

$\bar{X}$: Nilai rata-rata hitung sampel

K_T : Faktor frekuensi

S_X : Standar deviasi

Tabel nilai faktor frekuensi K_T telah disediakan untuk memudahkan perhitungan, tabel ini dikenal sebagai tabel reduksi Gauss.

Metode Distribusi Log Normal

Jika variabel acak $Y = \text{Log}x$ memiliki distribusi normal, maka variabel X dianggap mengikuti distribusi Log Normal. Persamaan metode distribusi log normal adalah sebagai berikut:

$$\text{Log}X_T = \overline{\text{Log}X} + K_T \times S_{\text{Log}X}$$

Dimana:

$\frac{\text{Log}X_T}{\text{Log}X}$: Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun
 K_T : Nilai rata-rata hitung sampel
 $S_{\text{Log}X}$: Faktor frekuensi

: Standar deviasi

Nilai K_T pada metode distribusi log normal dan metode distribusi normal adalah sama.

Metode Distribusi Log Person III

Persamaan curah hujan metode distribusi log person III adalah sebagai berikut :

$$\text{Log}X_T = \overline{\text{Log}X} + K_T \times S_{\log X}$$

$$K_T = \frac{1}{6} \times Cs \times Zt^2 - 1$$

Dimana:

$\text{Log}X_T$	: Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun
$\overline{\text{Log}X}$	: Nilai rata-rata hitung sampel
K_T	: Faktor frekuensi
$S_{\log X}$	: Standar deviasi
Cs	: Koefisien kemiringan (<i>Skewness</i>)
Zt	: Nilai deviasi standar yang terkait dengan periode ulang tertentu

Metode Distribusi Gumbel

Metode distribusi *gumbel* dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + \left(\frac{Y_{TR} - Y_n}{S_n} \right) \times S_X$$

Dimana:

X_T	: Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun
$\bar{X}$	: Nilai rata - rata hitung sampel
Y_{TR}	: <i>Reduced variate</i>
Y_n	: <i>Reduced mean</i> sesuai jumlah sampel
S_n	: <i>Reduced standart deviation</i> sesuai jumlah sampel
S_X	: Standar deviasi

Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan didefinisikan sebagai ketinggian curah hujan yang terakumulasi dalam suatu rentang waktu tertentu saat terjadi pengumpulan air di permukaan. Dalam studi ini, perhitungan intensitas hujan dilakukan berdasarkan data curah hujan harian, dengan menggunakan

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

pendekatan empiris dari metode Dr. Mononobe.

Dimana:

- I : Intensitas curah hujan (mm/jam)
- R_{24} : curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
- T : durasi curah hujan (jam).

Waktu konsentrasi (tc) pada suatu daerah aliran sungai (DAS) merupakan interval waktu yang diperlukan oleh air hujan untuk mengalir dari

$$t_c = \frac{0.87 \times L^2}{1000 \times S}$$

titik terjauh di dalam DAS hingga mencapai titik keluaran (outlet), setelah kondisi tanah mencapai kejenuhan dan seluruh cekungan mikro (depresi) telah terisi air. Nilai t_c dapat dihitung menggunakan persamaan empiris yang dikembangkan oleh Kirpich pada tahun 1940.

Dimana :

tc : Waktu konsentrasi banjir (Jam)

L : Panjang saluran (km)

S : Kemiringan rata – rata saluran

Hidrograf Satuan Sintesis Gamma 1

Hidrograf Satuan Sintetis Gamma 1 merupakan model hidrograf yang dikembangkan oleh Sri Harto (1993) berdasarkan analisis terhadap data hidrologi dari 30 daerah aliran sungai (DAS) di Pulau Jawa. Model ini telah terbukti aplikatif untuk berbagai wilayah di Indonesia. Hidrograf ini terdiri atas tiga komponen utama, yaitu segmen naik (*rising limb*), puncak aliran (*peak flow*), dan segmen turun (*recession limb*). Persamaan empiris yang digunakan disajikan sebagai berikut:

1. Waktu Naik (T_R)

Waktu naik (T_R) ialah interval waktu dimulai ketika hidrograf mulai meningkat hingga mencapai debit puncak, dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_R = 0.43 t_c + \left(\frac{L}{100SF}\right) + 1.0665 SIM + 1.2775$$

$$SF = \frac{L_1 + L_1}{L_1 + L_1 + L_2}$$

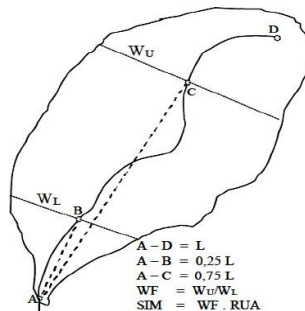
Dimana :

T_R : Waktu naik (jam)

L : Panjang sungai (km)

S : Faktor simetri

F : Faktor sumber SIM



Gambar 1. Penentuan Nilai WF

2. Debit Puncak (Q_p)

Persamaan untuk menghitung nilai debit puncak adalah:

$$Q_p = 0.1836 A^{0.5886} T R^{-0.4008} J N^{-0.2381}$$

Dimana :

Q_p : Debit puncak (m^3/s)

J_N :

Jumlah

pertemuan

sungai A :

Luas DAS

(Km)

T_R : Waktu Naik (Jam)

3. Waktu Dasar

Waktu dasar adalah periode waktu yang dimulai ketika hidrograf mulai meningkat hingga mencapai akhir dari limpasan langsung atau saat debit mencapai nol.

$$T_B = 27.4132 TR^{0.1457} SN^{-0.7344} RUA^{0.3574}$$

Dimana :

TB : Waktu dasar (jam)

TR : Waktu naik (jam)

SN : Frekuensi sumber

S : Kelandaian sungai

RUA : Luas DAS sebelah hulu

4. Koefisien Tumpungan (K)

Koefisien tumpungan adalah ukuran kemampuan DAS untuk menampung air [9]. Persamaan yang menghitung nilai koefisien tumpungan adalah sebagai berikut:

$$K = 0.5617.A^{0.1798}S^{-0.1446}.SF^{-1.0897}.D^{0.0452}$$

Dimana :

K :

Koefisien

tampungan

(jam) A :

Luas DAS

(Km^2)

S : Kelandaian sungai

SF : Faktor sumber

D : Kerapatan jaringan kuras (Km / Km^2)

5. Debit saat turun hidrograf (Q_T) Berikut adalah rumus menghitung nilai QT:

$$Q_T = Q_p \times e^{-1/K}$$

Dimana :

Q_T : Debit saat

bagian turun

hidrograf t : Waktu

(jam)

K : Koefisien tumpungan (jam)

6. Debit Efektif (ϕ)

$$\phi = 10.4903 - 3.859 \cdot 10^{-6} \cdot A^2 + 1.6985 \cdot 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4$$

Dimana :

ϕ : Hujan efektif (mm/jam)

SN : Frekuensi sumber

A : Luas DAS (Km²)

7. Aliran Dasar (Q_b)

$$Q_b = 0.4751 \cdot A^{0.6444} D^{0.9430}$$

Dimana :

Q_b : Aliran dasar (m³/s)

A : Luas DAS (Km²)

D : Kerapatan jaringan kuras (Km/Km²)

Hidrograf Satuan Sintesis ITB 1

Hidrograf satuan sintesis ITB-1 digunakan untuk evaluasi HSS di suatu DAS dengan metode hidrograf satuan sintesis ITB. Dalam perhitungan HSS ITB-1, digunakan nilai α sebesar 0,15. Berikut ini beberapa komponen penting dalam perhitungan HSS ITB-1:

1. Tinggi dan Durasi Hujan Satuan

Biasanya, tinggi hujan satuan yang umumnya digunakan adalah 1 inchi atau 1 mm, dengan durasi hujan satuan yang sering diambil selama 1 jam. Namun, jika kita memilih durasi 0,5 jam, maka tinggi hujan setiap jam harus dibagi 2 dan didistribusikan dalam interval 0,5 jam.

2. Time Lag (TL)

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung Time Lag (TL)

$$TL = Ct \cdot 0.81225 \cdot L^{0.6}$$

Dimana :

T_L : Time lag (Jam)

Ct : Koefisien waktu

(untuk proses kalibrasi) L :

Panjang sungai (Km).

3. Waktu Puncak (T_p)

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung Waktu Puncak (T_p)

$$T_p = T_L \cdot 0.5 T_r$$

Dimana :

T_p : Waktu puncak

T_L : Time lag

T_r : Durasi hujan satuan

4. Waktu Dasar

Pada Daerah Aliran Sungai dengan luas kurang dari 2 Km² menurut Soil Conservation Service (SCS), kita dapat menghitung harga T_b dengan

$$T_b = \frac{8}{3} \cdot T_p$$

menggunakan rumus berikut:

Dimana :

T_b : Waktu dasar

T_p : Waktu puncak

Nilai T_b dapat dibatasi hingga hampir mencapai kurva nol atau alternatifnya, dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T_b = (10-20) \cdot T_p$$

Berikut adalah bentuk dasar dari hidrograf satuan dalam Metode HSS ITB-1. HSS ITB-1 memiliki persamaan yang sama untuk kurva naik dan kurva turun, yang dapat diungkapkan dalam satu persamaan sebagai berikut:

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

Dalam metode HSS ITB-1, nilai koefisien α , β , dan C_p ditetapkan dengan nilai $\alpha = 1,50$ (SNI, 2016). Untuk menghitung Luasan HSS yang tidak memiliki dimensi, gunakan rumus berikut:

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

Dimana :

q_i : Debit ke-i

t_i : Waktu ke-i

A_i : Luasan HSS tak berdimensi

Untuk menghitung Q HSS berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_i = q_i \times Q_p$$

Dimana :

Q_i : Debit ke-i

Q_p : Waktu puncak (m^3/s)

q_i : Debit ke-i tak berdimensi

Untuk menghitung V HSS berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{2} \times 3600 \times (T_i - T_{i-1})(Q_i + Q_{i+1})$$

Dimana :

Q_i : Debit ke-i

T_i : Waktu ke-i

V : Volume HSS (m^3)

Volume hujan satuan efektif yang tersebar merata di seluruh DAS harus setara dengan volume hidrograf satuan sintesis pada saat puncak, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{DAS} = R \cdot A_{DAS} = 1000 \cdot A_{DAS} \\ 1000 \cdot A_{DAS} = A_{HSS} \cdot Q_p \cdot T_p \cdot 3600$$

Untuk nilai debit puncak dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_p = \frac{R}{3.6 \cdot T_p} \cdot \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}}$$

Dimana :

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

R : Curah hujan satu satuan (1 mm)

A_{DAS} : Luas DAS (Km^2)

A_{HSS} : Luas HSS yang tak berdimensi

Uji Statistik *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE)

NSE mengukur baik buruknya model HSS dengan memprediksi debit

dibandingkan dengan data observasi, adapun ketentuannya nilai $NSE = 1$, prediksi sempurna; $NSE > 0.65$, model dianggap baik sesuai SNI hidrologi; dan $NSE \leq$ model tidak lebih baik daripada rata-rata data observasi.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

RMSE mengukur rata-rata selisih antara prediksi dan observasi. Semakin kecil RMSE, maka semakin akurat model HSS tersebut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}$$

Analisis Hidraulika Saluran Terbuka

Analisis hidraulika bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas saluran terbuka dengan menganalisis parameter hidrolika seperti debit, kecepatan, dan kedalaman aliran. Evaluasi ini mempertimbangkan karakteristik fisik saluran (kemiringan, kekasaran, dan geometri) serta dinamika aliran yang terjadi. Salah satu pendekatan perhitungannya menggunakan persamaan *Chezy*.

$$V = C\sqrt{RI}$$

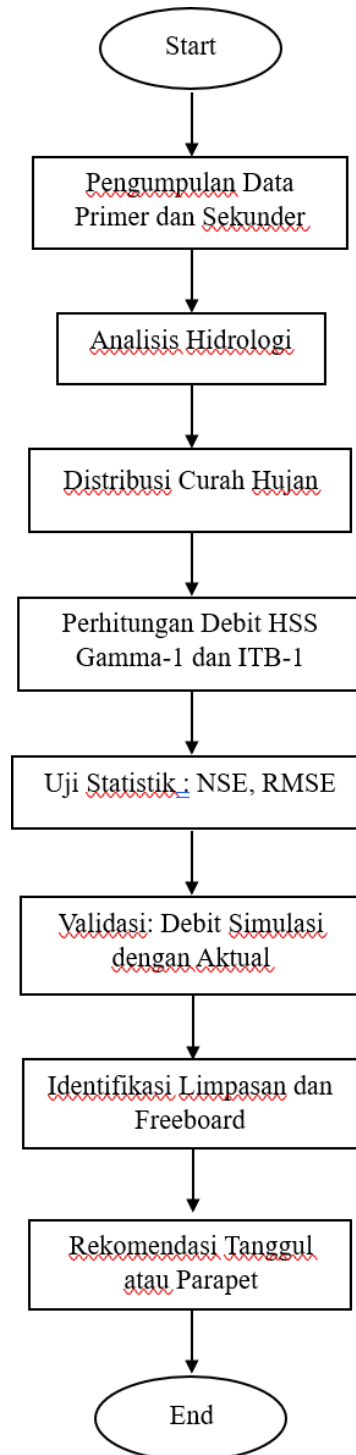
Pemodelan HEC-RAS

HEC-RAS dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC), adalah perangkat lunak pemodelan aliran sungai 1D untuk analisis *steady* dan *unsteady flow*. Program ini memprediksi tinggi muka air banjir (periode ulang 2-100 tahun) dan mengidentifikasi daerah rawan banjir akibat faktor seperti curah hujan ekstrem atau kapasitas saluran tidak memadai. Hasil simulasi dapat diintegrasikan dengan pemetaan genangan untuk analisis luas dan kedalaman banjir.

METODE

Diagram Alir

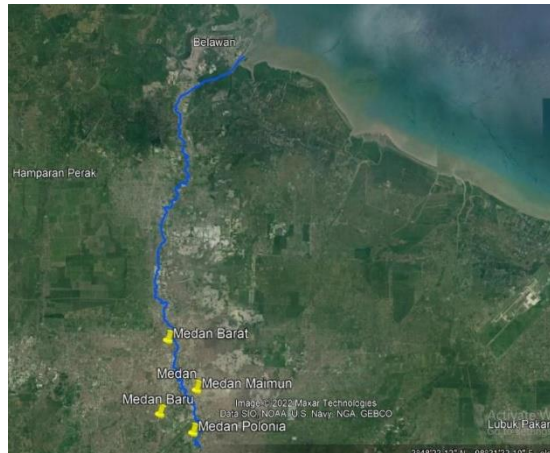
Diagram alir penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Kota Medan, ibu kota Provinsi Sumatera Utara, terletak pada $3^{\circ}27' - 3^{\circ}47'$ LU dan $98^{\circ}35' - 98^{\circ}44'$ BT dengan elevasi 2,5–37,5 m di atas permukaan laut. Secara administratif, kota ini berbatasan dengan Kabupaten Deli Serdang di timur, selatan, dan barat, serta Selat Malaka di utara. Dengan luas sekitar 265,10 km², topografinya didominasi dataran rendah, dilalui oleh Sungai Deli dan Sungai Babura.



Gambar 3 Lokasi Studi Kota Medan Sumber. Google Earth

Pengumpulan Data

Data primer sekunder

1. Survei lapangan untuk mengukur geometri sungai, titik rawan banjir dan sedimentasi tepi sungai
2. Data curah hujan dari 4 stasiun yaitu stasiun Tongkoh, stasiun Sibiru-biru, stasiun Tuntungan, dan stasiun Sampali.
3. kondisi eksisting, data *cross section*, serta peta sungai dapat diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Sumatera II.
4. Data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) dari Badan Informasi Geospasial (BIG)

Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis untuk memperoleh hasil dari permasalahan pada penelitian ini.

1. Analisis hidrologi dengan mencari distribusi curah hujan dengan 4 metode dan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100 tahun kemudian uji kecocokan dengan *chi-kuadrat* dan *smirnov-kolmogorov*.
2. Analisis pemodelan hidrograf banjir rencana dengan metode HSS Gamma-1 dan HSS ITB-1.
3. Menghitung dan menganalisis debit kapasitas sungai deli.
4. Mencari solusi alternatif penanganan banjir kemudian dilakukan simulasi pemodelan HECRAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Curah Hujan

Stasiun hujan yang dianalisis yaitu Stasiun Curah Hujan Tongkoh, Sibiru-biru, Tuntungan, dan Sampali yang berada di DAS Sungai Deli.

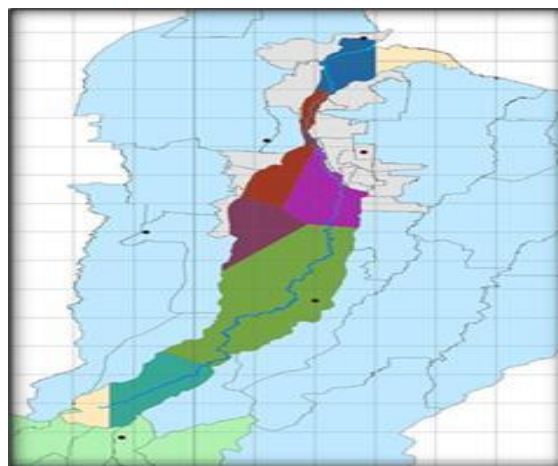
Tabel 1 . Curah Hujan Harian Max Kawasan Das Deli (mm)

Tahun	Stasiun Curah Hujan			
	Tongkoh	Sibiru-biru	Tuntungan	Sampali
2007	112	98	95	135
2008	84	90	100	90
2009	94	103	136	103
2010	94	135.51	106.3	401
2011	122	83	175	98
2012	145	111	104	83
2013	135	108	140	111
2014	113	143	89	165
2015	101	122	169	90
2016	80	87	136	84
2017	77	119	141	135
2018	70	123	123	147
2019	82	73	100	159
2020	99	115	116	112
2021	141	137	103	153

Sumber: Analisa dan Perhitungan, 2025

Penentuan Curah Hujan Wilayah

Metode Poligon Thiessen digunakan untuk memperhitungkan kontribusi relatif setiap stasiun hujan terhadap wilayah pengamatannya. Analisis ini didasarkan pada data curah hujan harian maksimum dari empat stasiun, yakni Sampali, Tongkoh, Helvetia, dan Belawan. Keempat stasiun ini merepresentasikan kondisi curah hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Sungai Deli, yang membentang dari bagian hulu hingga ke wilayah muara.



Gambar 4 Polygon Thiessen DAS Sungai Deli

Tabel 2. Luas Tangkapan Hujan Tiap-tiap Stasiun Pengamatan

Stasiun	Persentase (%)	Luas DAS (Km ²)
Tongkoh	27.82	69.56
Sibiru-biru	57.99	144.97
Tuntungan	10.12	25.3

Sampali	4.07	10.18
Jumlah	100.00	250.01

Sumber: BPDAS Wampu Sei Ular, 2020

Analisa Frekuensi Curah Hujan

Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi *Log Person III*, dan Distribusi *Gumbel* digunakan untuk menghitung curah hujan rencana dengan periode ulang 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, dan 100 tahun.

Tabel 3. Curah Hujan Rencana

T (tahun)	XT (mm)			
2	110.626	110.626	110.626	108.407
5	123.657	124.945	124.945	125.632
10	130.483	133.171	133.171	137.037
15	133.275	136.690	136.690	142.505
20	136.068	140.302	140.302	147.975
25	137.123	141.691	141.691	151.445
50	142.428	148.890	148.890	162.135
100	146.772	155.055	155.055	172.746

Uji Kecocokan

Dua metode uji kecocokan yang digunakan yaitu Uji Chi-Kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov.

Tabel 4. Uji Chi-Kuadrat

Hasil	Normal	Log Normal	Gumbel	Log Person III
Chi-Kuadrat (X2)	0.667	0.333	2	0
Chi-Kuadrat (X2Cr)	5.991	5.991	5.991	5.991
Hipotesa	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

Hal ini menunjukkan bahwa nilai X2 yang ditemukan lebih kecil dari pada nilai kritis ($dk=2$) dan tingkat signifikan ($\alpha=0.05$) yang tercantum dalam tabel, khususnya untuk distribusi Log Person III. Oleh karena itu, distribusi Log Person III memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Tabel 5. Uji Smirnov-Kolmogorov

Hasil	Normal	Log Normal	Gumbel	Log Person III
Chi-Kuadrat (X2)	0.104	0.418	15.943	0.063
Chi-Kuadrat (X2Cr)	0.340	0.340	0.340	0.340
Hipotesa	Diterima	Tidak Diterima	Tidak Diterima	Diterima

Analisis Intensitas Curah Hujan

Analisis intensitas curah hujan menggunakan metode Mononobe.

Tabel 6. Perhitungan Intensitas Curah Hujan Periode 2 – 15 Tahun

Periode Ulang	Intensitas			
	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	15 Tahun
R24	110.63	124.94	133.69	136.69
	mm/jam	mm/jam	mm/jam	mm/jam
1	38.354	43.315	46.348	47.388
2	24.161	27.287	29.197	29.853
3	18.438	20.823	22.282	22.782
4	15.221	17.189	18.393	18.806
5	13.117	14.813	15.851	16.206
6	11.615	13.118	14.037	14.352
7	10.481	11.837	12.666	12.950
8	9.588	10.829	11.587	11.847
9	8.263	9.332	9.985	10.209
10	7.754	8.757	9.371	9.581
11	7.317	8.264	8.843	9.041
12	6.937	7.834	8.383	8.571
13	6.603	7.457	7.979	8.158
14	6.306	7.121	7.620	7.791
15	5.801	6.551	7.010	7.167
16	5.584	6.306	6.748	6.900
17	5.386	6.083	6.509	6.655
18	5.205	5.879	6.290	6.432
19	5.039	5.691	6.089	6.226
20	4.885	5.517	5.903	6.036
21	4.742	5.356	5.731	5.859
22	4.610	5.206	5.570	5.695
23	38.354	43.315	46.348	47.388
24	24.161	27.287	29.197	29.853

Tabel 7. Perhitungan Intensitas Curah Hujan Periode 20 – 100 Tahun

Periode Ulang	Intensitas			
	20 Tahun	25 Tahun	50 Tahun	100 Tahun
R24	110.63	124.94	133.69	136.69
	140.3	141.69	148.89	155.05
1	mm/jam	mm/jam	mm/jam	mm/jam
2	48.640	49.122	51.618	53.753
3	30.641	30.945	32.517	33.862
4	23.383	23.615	24.815	25.842
5	19.303	19.494	20.484	21.332
6	16.634	16.799	17.653	18.383

Periode Ulang	Intensitas			
	20 Tahun	25 Tahun	50 Tahun	100 Tahun
7	14.731	14.877	15.633	16.279
8	13.292	13.424	14.106	14.689
9	12.160	12.280	12.904	13.438
10	10.479	10.583	11.121	11.581
11	9.834	9.931	10.436	10.868
12	9.280	9.372	9.848	10.255
13	8.797	8.885	9.336	9.722
14	8.373	8.456	8.886	9.254
15	7.997	8.076	8.487	8.838
16	7.357	7.430	7.807	8.130
17	7.082	7.152	7.515	7.826
18	6.831	6.899	7.249	7.549
19	6.601	6.667	7.006	7.295
20	6.390	6.453	6.781	7.062
21	6.195	6.256	6.574	6.846
22	6.014	6.074	6.382	6.646
23	5.846	5.904	6.204	6.460
24	140.3	141.69	148.89	155.05

Analisis Hidrograf Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana dihitung menggunakan metode: Rasional, Hidrograf Satuan Sintetik Gamma-1, dan Hidrograf Satuan Sintetik ITB-1. Seleksi metode Hidrograf Satuan Sintetik dilakukan berdasarkan perhitungan debit *Chezy* dan debit HSS pada kala ulang 2 tahun.

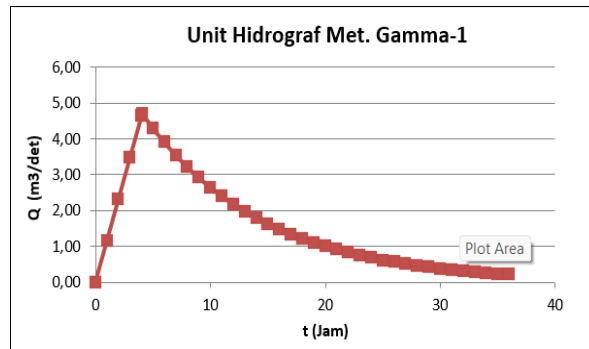
1. Metode Rasional

Tabel 8. Perhitungan Intensitas dan Debit Metode Rasional

T	X _t	I	Q (m ³ /det)
2	110.626	7.073	393.443
5	124.945	7.989	444.369
10	133.171	8.515	473.625
15	136.690	8.740	486.140
20	140.302	8.971	498.986
25	141.691	9.060	503.926
50	148.890	9.520	529.530
100	155.055	9.914	551.455

Sumber: Perhitungan, 2025

2. Metode Gamma-1



Gambar 4 Grafik Unit Hidrograf HSS Gamma I

Tabel 9. Perhitungan Debit Banjir Periode Ulang 25 Tahun

T	Q terkoreksi	Design Rainfall			Q (m3/s)
		1	2	3	
Jam	(m3/det)	30.945	23.615	19.494	
4,06	4.716	145.931	111.364	91.930	349.226

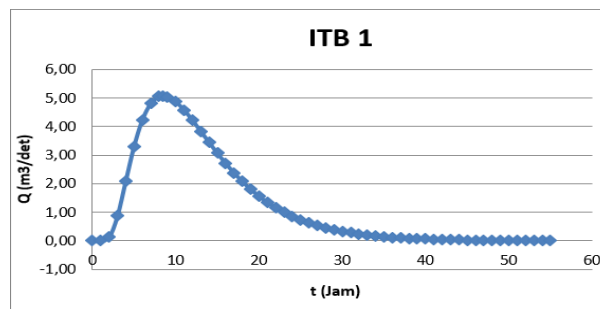
Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Debit Banjir Terbesar Metode Gamma-1

Debit Banjir	Jam
	4.06
Q2	272.664
Q5	307.959
Q10	329.514
Q15	336.908
Q20	345.789
Q25	349.221
Q50	366.959
Q100	382.148

3. Metode ITB-1

Tabel 11. Unit Hidrograf Metode ITB-1

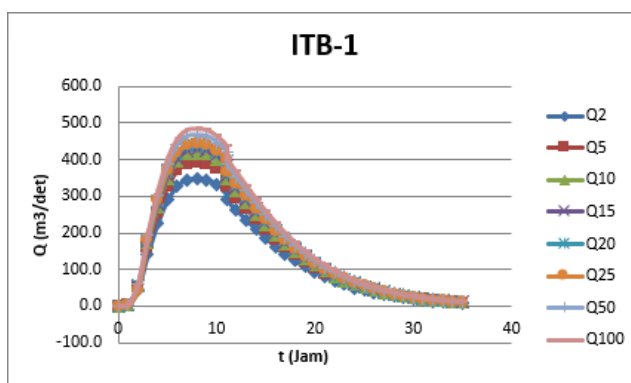
T (Jam)	HSS Tak Berdimensi			HSS Berdimensi	
	$t = T/T_p$	$q = Q/Q_p$	AHHS	$Q = q \times Q_p$	V (m3)
8.4	0.99	1.00	0.05	5.08	7296.88



Gambar 5 Grafik Unit Hidrograf HSS Gamma I

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Debit Banjir Terbesar Metode ITB-1

Debit Banjir	Jam
	11.07
Q2	288.343
Q5	327.357
Q10	347.385
Q15	356.375
Q20	365.713
Q25	369.281
Q50	387.758
Q100	403.598



Gambar 6 Grafik HSS ITB-1

Uji Statistik NSE dan RMSE

Berdasarkan perhitungan NSE dengan nilai Gamma-1 mendekati 1 yang artinya bahwa :

Tabel 13. Uji Statitik NSE dan RMSE

Metode	NSE	RMSE (m³/s)
Gamma-1	0.72	12.3
ITB-1	0.58	18..7

Dari hasil perhitungan debit puncak yaitu nilai dari HSS Gamma-1 = 349.226 m³/s kala ulang 25 tahun lebih mendekat kapasitas sungai eksisting di Medan Barat sebesar 272.836 m³/s. Nilai debit puncak HSS ITB-1 sebesar 369.279 m³/s cenderung *overestimate* dan kurang realistis untuk kapasitas tampung Sungai Deli. HSS Gamma-1 juga dirancang untuk karakteristik DAS yang termasuk Pulau Jawa dan Sumatera. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu puncak hidrograf Gamma-1 (4,06 jam) lebih merepresentasikan karakteristik respons cepat Daerah Aliran Sungai (DAS) perkotaan seperti Sungai Deli, dibandingkan dengan ITB-1 (11,07 jam) yang lebih sesuai untuk DAS dengan waktu konsentrasi yang lebih lama. Secara statistik, Gamma-1 menunjukkan performa lebih baik dengan nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) > 0,65 dan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang lebih rendah, menandakan kesesuaian yang lebih tinggi terhadap data historis. Oleh karena itu, Gamma-1 direkomendasikan sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi banjir di DAS Sungai Deli, sementara ITB-1 tetap dapat digunakan sebagai skenario pembandingan yang bersifat konservatif.

Analisis Kapasitas Sungai Deli

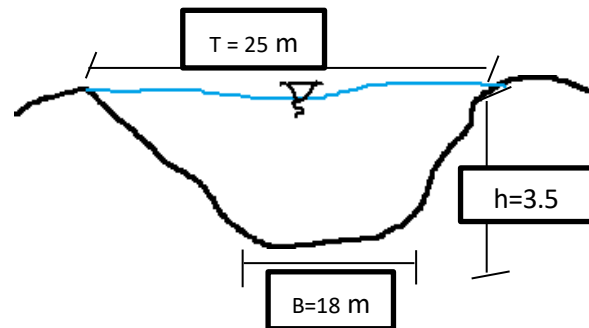
Kapasitas Sungai Deli dihitung dengan metode debit *Chezy*.

$$Q = V \times A$$

$$V = C \sqrt{Ri}$$

$$C = \frac{1}{n} \times (R)^{\frac{1}{6}}$$

Berdasarkan hasil, lokai banjir terjadi di 4 titik, yaitu Kecamatan Medan Polonia, Medan Maimun, Medan Barat, dan Medan Baru.



Gambar 7 Sketsa Potongan Melintang Sungai di Kec. Medan Maimun

Kapasitas Sungai Deli di Kecamatan Medan Maimun dalam keadaan bankfull atau saat tinggi air 3.5 m adalah 242.913 m³/det.

Lebar Dasar (B)	=	18	m
Lebar Basah /	=		
Bankfull (T)	=	25	m
Tinggi muka air (h)	=	3.5	m
TMA - Bankfull (Y)	=	3.5	m
Luas Basah (A)	=	75.25	m ²
Keliling Basah (P)	=	27.899	m
R	=	2.697	
C	=	33.709	
V	=	3.228	m/det
Q	=	242.913	m ³ /det

Kapasitas Sungai Deli di Kecamatan Medan Barat adalah 272.836 m³/det. Pemilihan debit banjir menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintesis (HSS), dengan hasil sebagai berikut: Kecamatan Polonia 207.335 m³/s, Kecamatan Medan Maimun 249.913 m³/s, Kecamatan Medan Baru 255.954 m³/s, Kecamatan Medan Barat 272.836 m³/s. Dalam pemodelan HEC-RAS, HSS Gamma-1 dengan debit pada kala ulang 2 tahun sebesar 272.669 m³/s mendekati kapasitas sungai, sehingga digunakan sebagai debit banjir.

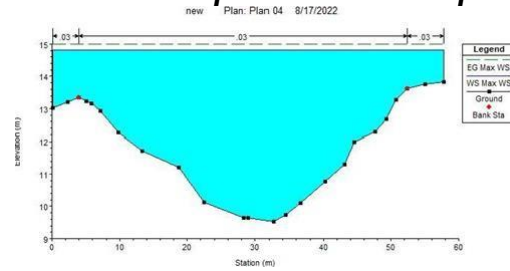
Pemodelan Banjir

Pemodelan banjir pada Sungai Deli dilakukan dengan menggunakan metode HSS Gamma 1.

1. Simulasi Banjir Pada Kala Ulang 25 Tahun. Debit *inflow* mencapai 349.226 m³/s, sementara debit *outflow* adalah 322.200 m³/s. Tinggi muka air limpasan 4 meter di atas batas *bankfull* sungai. Solusi yang dapat diterapkan adalah dengan memasang parapet atau tanggul di kedua sisi tepi sungai.

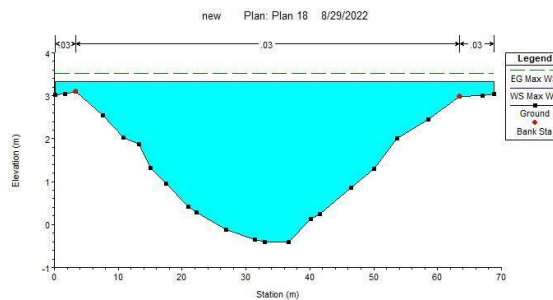


Gambar 8 Debit *inflow* dan debit *outflow* 25 tahun



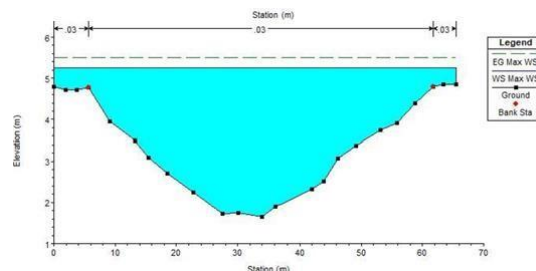
Gambar 9 Gambar Potongan Melintang Saat Debit 25 Tahun

2. Simulasi Banjir Pada Kala Ulang 5 Tahun. Debit *inflow* mencapai 307.94 m³/s, sementara debit *outflow* adalah 292.31 m³/s.



Gambar 10 Profil Melintang saat Debit pada Periode Ulang 2 Tahun

3. Simulasi Banjir Pada Kala Ulang 10 Tahun. Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan pada penilitan ini menggunakan *Software* HEC-RAS didapatkan Debit *inflow* mencapai 329.50 m³/s, sementara debit *outflow* adalah 312.10 m³/s.

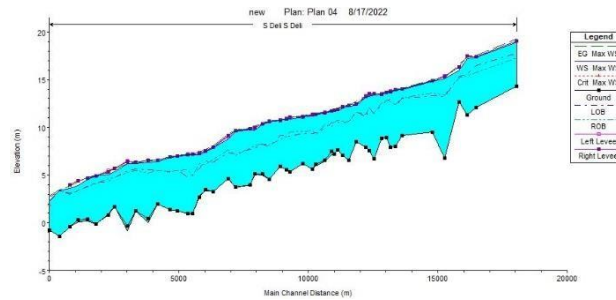


Gambar 11 Profil Melintang saat Debit pada Periode Ulang 5 Tahun

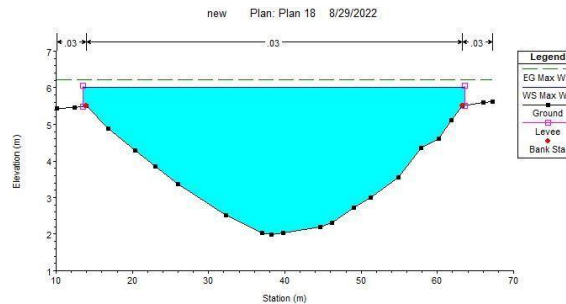
Perencanaan Penanggulangan Banjir

Pemodelan banjir Sungai Deli menunjukkan bahwa sungai ini tidak dapat menampung debit banjir kala ulang 25 tahun. Oleh karena itu, penanggulangan

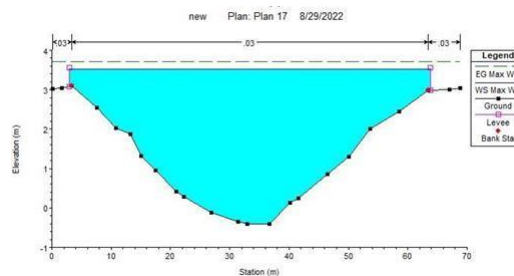
banjir di Kota Medan bisa dilakukan dengan menambahkan parapet atau tanggul di tepi sungai.



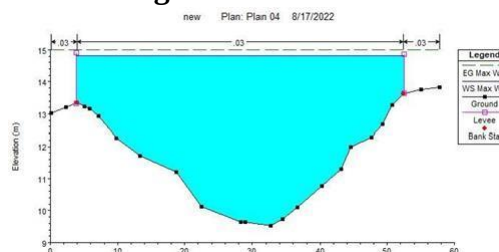
Gambar 12 Profil Memanjang Setelah Diberi Parapet Kala Ulang 25 Tahun
Tanggul sungai dipasang di sepanjang tepi sungai untuk mengendalikan aliran air dan mencegah banjir. Sempadan sungai adalah area yang terletak di luar tanggul kanan dan kiri yang dimanfaatkan untuk keperluan sungai. Pada kala ulang 5 tahun tinggi parapet berkisar 0.5 m - 1.5 m,



Gambar 13 Profil Melintang Setelah Diberi Parapet Kala Ulang 5 Tahun
Kala ulang 10 tahun berkisar 0.5 m – 2.5 m,



Gambar 14 Profil Melintang Setelah Diberi Parapet Kala Ulang 10 Tahun
Kala ulang 25 tahun berkisar 1 m – 4 m.



Gambar 15 Profil Melintang Setelah Diberi Parapet Kala Ulang 25 Tahun

KESIMPULAN

1. HSS Gamma-1 lebih akurat untuk DAS Sungai Deli dengan debit puncak 349.226 m³/s kala ulang 25 tahun dan waktu puncak 4.06 jam, sesuai

- karakteristik DAS Sungai Deli dengan luas 472 km², kemiringan tinggi.
2. Kapasitas Sungai Deli hanya mampu menampung 10% debit banjir, sehingga diperlukan parapet setinggi 1–4 meter.
 3. Pada pemodelan HEC-RAS limpasan terjadi di 4 titik yaitu Kecamatan Medan Maimun, Medan Barat, dll. dengan *freeboard* optimal 0.5–1 meter.

SARAN

1. Prioritaskan pembangunan tanggul di daerah limpasan tertinggi seperti Kec. Medan Barat dan kombinasikan dengan kolam retensi untuk mengurangi debit puncak.
2. Analisis dampak perubahan tata guna lahan terhadap koefisien limpasan (CN) juga dapat dikembangkan sebagai studi lanjutan.
3. Pemerintah sekitatr juga dapat melakukan sosialisasi pemeliharaan sungai berbasis partisipasi masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Agustina, dkk "Analisis Karakteristik Aliran Sungai pada Sungai Cimadur, Provinsi Banten dengan Menggunakan HEC-RAS," *Journal of Infrastructural in Civil Engineering (JICE)*, vol. 3, p. 32, 2022.
- [2] I. Ashraf, dkk "Community perspectives to improve flood management and socio-economic impacts of floods at Central Indus River, Pakistan," *International Journal of Disaster Reduction*, 2023.
- [3] J. Yu, dkk "A multi-dimensional framework for improving flood risks assesment: Application in the Han River Basin, China," *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2023.
- [4] D. Safitri, "Karakteristik Aliran dan Debit Banjir pada Beberapa Sungai di Indonesia," *Journal of Infrastructural in Civil Engineering (JICE)*, vol. 2, p. 2, 2021.
- [5] Pranida and P. S. Putra, "Kajian Penilaian Kinerja Sungai Sente," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 2, pp. 37-47, 2022.
- [6] T. Skevas, dkk "Farm impacts of the 2019 Missouri River floods and economic valuation of flood risk reduction," *Journal of Environmental Management*, 2023.
- [7] Polantolo, *Penanggulungan Bantaran Sungai.*, Malang: UMN, 2008.
- [8] [A. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2014.
- [9] C. Soemarto, *Hidrologi teknik*, Surabaya: Usaha Nasional, 1987.
- [10] S. Harto, *Analisis hidrologi*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1993.
- [11] Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Yogyakarta: Yogyakarta : Andi, 2004.
- [12] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*, Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta, 2010.
- [13] Suprpto, *Diklat Teknis Perencanaan Irigasi*, Bandung: Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan, 2016.



- [14] S. Imam, Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air, Bandung: Idea Dharma Bandung, 1980.
- [15] D. K. Natakusumah, "Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis," Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, vol. Vol. 18, pp. 3-6, 2011.
- [16] S. M. Ismawati, "Pemodelan Aliran 1D pada Bendungan Tugu," Jurnal Hidroteknik, vol. 2, p. 1, 2017.
- [17] E. Seyhan, Dasar-dasar hidrologi, Yogyakarta: Yogyakarta : Gadjah Mada University Press, 1990.
- [18] R. J. kodoatie, Banjir : Beberapa penyebab dan metode pengendaliannya dalam perspektif lingkungan, Yogyakarta: Yogyakarta : Pustaka pelajar, 2002.
- [19] Sariasih and F. Ayu, "Implementasi Business Intelligence Dashboard dengan Tableau," Jurnal Pendidikan Tambusai, vol. 6, p. 14425, 2022.