

Kajian Hidrologi Penyebab Banjir Ekstrem di Kota Medan Tanggal 27 November 2024 dan 27 November 2025

Mantahari Hasibuan^{1*}, Rachmad Jayadi¹, Radiana Triatmadja¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
Corresponding author: mantaharihasibuan@mail.ugm.ac.id

INTISARI

Banjir yang terjadi di Kota Medan pada 27 November 2024 dan 27 November 2025 merupakan kejadian banjir ekstrem yang dipicu oleh kondisi hidrometeorologi berupa akumulasi hujan dengan intensitas tinggi selama beberapa hari sebelumnya yang menyebabkan tanah jenuh dan terjadi peningkatan limpasan permukaan secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik hujan penyebab banjir serta menganalisis respon hidrologi daerah tangkapan air (DTA) Sungai Deli terhadap kejadian tersebut. Analisis hujan kawasan dilakukan menggunakan metode Poligon *Thiessen* dan analisis frekuensi untuk menentukan hujan rancangan pada berbagai kala ulang. Hujan efektif dihitung menggunakan metode SCS-*Curve Number* (CN). Simulasi hidrograf banjir dilakukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) SCS dan Nakayasu menggunakan beberapa pola distribusi hujan ekstrem. Hasil analisis menunjukkan bahwa hujan di DTA Deli-Tangkahan merupakan hujan dengan kala ulang antara 20-50 tahun, sedangkan hujan di DTA Deli-Jembatan Sejarah mendekati kala ulang 100 tahun sehingga dapat dikategorikan sebagai anomali hujan ekstrem. Simulasi hidrograf menunjukkan debit puncak banjir di DTA Deli-Jembatan Sejarah dengan PDH Ekstrem I mencapai sekitar 802,74 m³/s dan berada di antara debit banjir rancangan kala ulang 50–100 tahun. Temuan ini menunjukkan keterkaitan kuat antara hujan ekstrem dan kejadian banjir, sementara pengaruh perubahan karakteristik DAS relatif lebih kecil.

Kata kunci: Hidrograf satuan sintetik, *curve number*, debit banjir rancangan, Sungai Deli.

1 PENDAHULUAN

Bencana hidrometeorologi, yang berkaitan erat dengan parameter iklim seperti curah hujan, suhu, dan angin, merupakan ancaman dominan yang mencakup lebih dari 92% kejadian bencana di Indonesia (Putra dkk, 2021; Aeni & Anwar, 2024). Sebagai negara kepulauan tropis, Indonesia memiliki kerentanan tinggi terhadap cuaca ekstrem yang dipicu oleh perubahan iklim global (Aeni & Anwar, 2024). Dalam beberapa tahun terakhir, frekuensi dan intensitas bencana ini di Indonesia terus menunjukkan tren peningkatan yang signifikan akibat pengaruh perubahan iklim global. Fenomena ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan infrastruktur dan kerugian ekonomi masif hingga miliaran dolar setiap tahunnya, tetapi juga mengancam keselamatan jiwa penduduk, terutama di wilayah perkotaan yang padat (Putra dkk, 2021).

Dalam konteks perkotaan, banjir menjadi masalah sistemik yang dipicu oleh kombinasi faktor alam dan aktivitas manusia. Peningkatan jumlah penduduk pada suatu wilayah menyebabkan terjadinya perubahan tata guna lahan akibat aktivitas manusia, perubahan tata guna lahan ini mempengaruhi kapasitas resapan air dan meningkatkan volume aliran permukaan (Sabrina, 2021). Di Kota Medan, Sungai Deli telah diidentifikasi sebagai penyebab utama banjir akibat sedimentasi tinggi dan penyempitan dimensi sungai (Simanjuntak dkk., 2024).

Meskipun berbagai upaya struktural telah dilakukan, Kota Medan masih menghadapi permasalahan banjir yang terus mengalami kenaikan. Data menunjukkan frekuensi banjir mencapai 29 kali sepanjang tahun 2022 hingga 2025, dengan dua kejadian banjir ekstrem berturut-turut pada 27 November 2024 dan 27 November 2025 yang merendam belasan kecamatan dan menelan korban jiwa (BNPB, 2026). Pemilihan kejadian banjir ekstrem dilakukan berdasarkan dampak dari banjir tersebut. Kejadian banjir 27 November 2024 merendam setidaknya 6201 rumah dengan total 6 kecamatan terdampak, sedangkan kejadian banjir 27 November 2025 merendam 3098 rumah dengan total kerusakan sebanyak 242 rumah dan korban jiwa sebanyak 12 orang di 12 kecamatan di Kota Medan (BNPB, 2026).

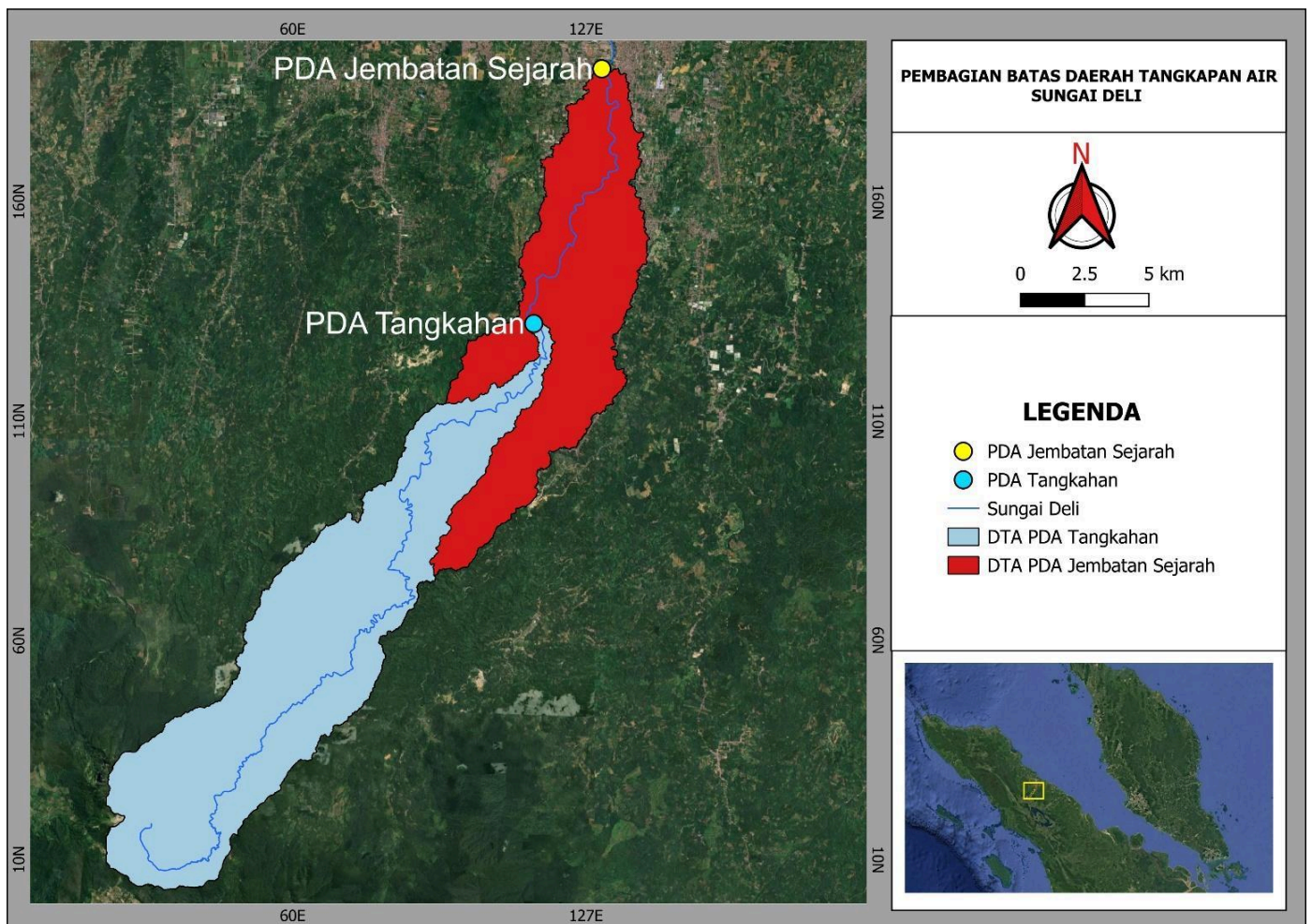
Hingga saat ini, kajian yang secara spesifik menganalisis karakteristik hujan ekstrem dan respon hidrologi DTA pada kejadian banjir ekstrem tersebut masih terbatas. Pemahaman yang mendalam mengenai korelasi antara intensitas hujan durasi pendek dan respon hidrologi berupa peningkatan debit puncak pada tanggal tersebut sangat diperlukan untuk meningkatkan akurasi sistem peringatan dini di masa depan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi hidrologi terhadap kejadian banjir ekstrem di Kota Medan dengan fokus utama pada identifikasi parameter hujan penyebab banjir tanggal 27 November 2024 dan 27 November 2025. Melalui analisis data curah hujan dan pemodelan hidrologi, studi ini mengevaluasi hubungan antara intensitas hujan dan peningkatan debit banjir yang terjadi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah sebagai bahan pertimbangan untuk evaluasi efektivitas infrastruktur pengendali banjir yang sedang dikembangkan di Kota Medan.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada daerah aliran sungai (DAS) Deli dari hulu hingga pos duga air (PDA) di hilir kanal banjir. Sungai ini memiliki hulu di Kabupaten Karo yang melalui Kabupaten Deli Serdang dan Kota Medan sebelum akhirnya bermuara di Selat Malaka. Daerah tangkapan air (DTA) pada penelitian ini dibagi menjadi dua area yaitu DTA Deli-Tangkahan untuk mewakili wilayah hulu sungai dengan batas area hulu sungai hingga PDA Tangkahan dan DTA Deli-Jembatan Sejarah dari hulu sungai hingga PDA Jembatan Sejarah. Pembagian wilayah DTA serta titik pos duga air dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan batas DTA Sungai Deli.

2.2 Data Penelitian

Pada penelitian ini ada dua jenis data sekunder yang digunakan untuk analisis, data tersebut diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Sumatera II Medan (BBWS Sumatera II), Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah I (BBMKG) Medan dan dari sumber lain yang diunduh dari laman penyedia. Data ini meliputi data hidrologi seperti data curah hujan harian, data debit aliran sungai serta informasi hidrologi terkait pada kedua sungai yang diteliti, dan data spasial seperti *digital elevation model* (DEM) serta peta tata guna lahan yang diunduh

dari laman penyedia. Daftar pos hidrologi yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Daftar pos hidrologi

No.	Nama pos hidrologi	Pengelola	Ketersediaan data
1	Pos Klimatologi Kuta Gadung	BBWS Sumatera II Medan	2007 - 2025
2	Pos Curah Hujan Sibolangit	BBWS Sumatera II Medan	2007 - 2025
3	Pos Curah Hujan Kuala	BBWS Sumatera II Medan	2021 - 2025
4	Pos Curah Hujan Kota Jurung	BBWS Sumatera II Medan	2007 - 2025
5	Pos Curah Hujan Telun Kenas	BBWS Sumatera II Medan	2017 - 2025
6	Stasiun Geofisika Deli Serdang	BBMKG Wilayah I	2007 - 2025
7	BBMKG Wilayah I	BBMKG Wilayah I	2007 - 2025
8	Pos Klimatologi Kampung Baru	BBWS Sumatera II Medan	2018 - 2025
9	Pos Curah Hujan Tanjung Morawa	BBWS Sumatera II Medan	2007 - 2025
10	Pos Duga Air Deli-Tangkahan	BBWS Sumatera II Medan	2017 - 2025
11	Pos Duga Air Deli-Jembatan Sejarah	BBWS Sumatera II Medan	2017 - 2025
12	Pos Duga Air Percut-Tambung	BBWS Sumatera II Medan	2015 - 2025

Data DEM yang digunakan diperoleh dari laman <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/demnas>, data ini digunakan untuk analisis batas daerah tangkapan air (DTA) pada masing-masing sungai, luas daerah tangkapan air, serta panjang sungai utama. Data tata guna lahan diperoleh dengan cara mengunduh peta tata guna lahan dari laman <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer> dan data jenis tanah menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO) UNESCO dari laman <https://www.fao.org/soils-portal>, kedua data ini digunakan untuk menentukan nilai *curve number* (CN) pada masing-masing DTA.

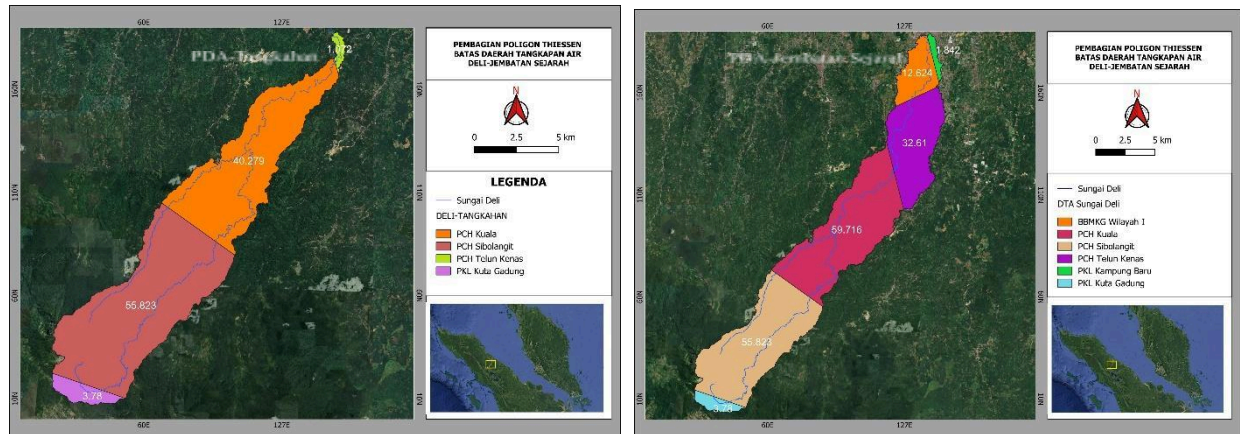
2.3 Hujan Rancangan

Hujan rancangan merupakan besaran hujan dengan karakteristik tertentu berupa intensitas, durasi, tinggi serta distribusi pada kala ulang tertentu yang digunakan untuk menentukan banjir rancangan yang melalui suatu bangunan air. Metode analisis hujan rancangan meliputi pengumpulan data hujan, perhitungan hujan kawasan, analisis frekuensi dan perhitungan hujan efektif. Penentuan hujan kawasan pada penelitian ini digunakan dengan menggunakan metode poligon *Thiessen*. Metode ini memperhitungkan hujan yang terjadi pada suatu DAS berdasarkan luas poligon pada daerah tangkapan air DAS tersebut (Chow et al,1988). Nilai rerata hujan kawasan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 + \dots + A_n P_n}{A} \quad (1)$$

Dimana \bar{P} merupakan hujan rerata kawasan pada DTA berdasarkan curah hujan dari masing-masing pos curah hujan,

p_1, p_2, \dots, p_n merupakan curah hujan yang terjadi pada stasiun 1,2,...,n, dan A_1, A_2, \dots, A_n luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,...,n. Selanjutnya nilai hujan kawasan pada masing-masing pos curah hujan diambil nilai hujan maksimum harian setiap tahunnya untuk dilakukan analisis frekuensi. Pembagian poligon untuk penentuan hujan kawasan dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Pembagian Poligon *Thiessen* DTA Deli-Tangkahan dan DTA Deli-Jembatan Sejarah

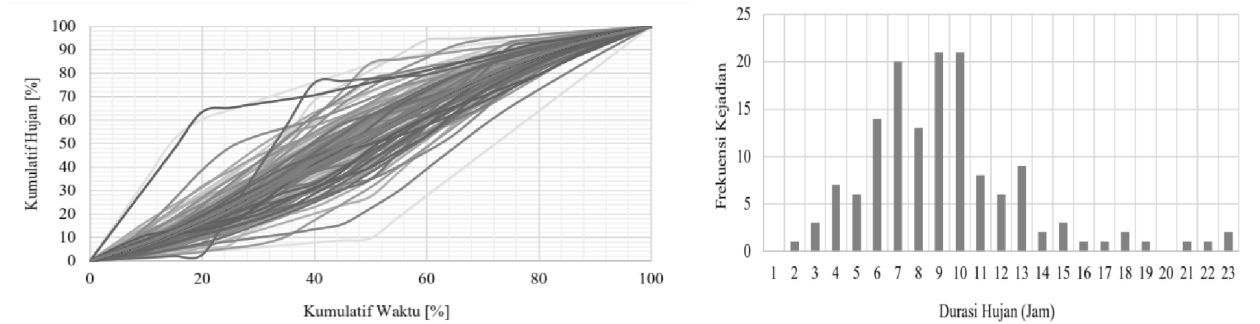
Analisis frekuensi merupakan serangkaian prosedur statistik yang dilakukan untuk memprediksi besarnya curah hujan yang mungkin akan terjadi pada periode ulang atau jangka waktu tertentu menggunakan data hujan historis. Data hujan harian maksimum tahunan akan dianalisis parameter statistik kemudian didistribusikan dengan menggunakan beberapa metode antara lain (Chow et al,1988):

- Distribusi Normal
- Distribusi Log Normal
- Distribusi Log Pearson III
- Distribusi Gumbel

Penentuan distribusi terpakai dipilih berdasarkan kecocokan antar jenis distribusi, uji kecocokan data ini dilakukan dengan dua metode (Sri Harto, 1991) yaitu metode uji *Chi-Square* dan uji Smirnov-Kolmogorov. Pada penelitian ini kala ulang yang digunakan adalah kala ulang 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Analisis frekuensi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak AProb50, selanjutnya hasil analisis frekuensi diperoleh nilai hujan maksimum untuk masing-masing kala ulang.

Data hujan durasi pendek pada penelitian ini diperoleh dari data satelit GPM dengan durasi setengah jam kemudian di analisis dengan bantuan perangkat lunak VRainPrep menjadi hujan dengan durasi jam-jaman. Penggunaan data satelit dilakukan karena keterbatasan data hujan terukur yang tersedia hanya dalam durasi harian. Data ini diperoleh dengan metode rerata area poligon yang mencakup seluruh DTA pada kedua sungai. Durasi hujan yang digunakan adalah durasi hujan ekstrem dengan intensitas kejadian hujan >2 mm/jam dan total hujan >50 mm setiap kejadian (Ratna, et al.2023). Berdasarkan hasil analisis diperoleh kejadian hujan ekstrem sebanyak 442 kejadian hujan pada tahun 2000-2025.

Penentuan durasi hujan menggunakan metode rata-rata aritmatika, dimana durasi hujan ekstrem terpilih akan dikalikan dengan frekuensi kejadian hujan, kemudian totalnya akan dibagi dengan jumlah kejadian hujan ekstrem terpilih. Durasi hujan dengan metode rata-rata geometri tersebut disebut sebagai Pola Distribusi Hujan (PDH) Ekstrem 1 dengan durasi hujan selama 8 jam, kemudian untuk melihat karakteristik banjir yang terjadi pada kejadian banjir ekstrem digunakan pola distribusi hujan pada tanggal kejadian banjir yaitu 27 November 2024 dengan durasi selama 19 jam dan 27 November 2025 dengan durasi hujan selama 24 jam. Kedua pola hujan kejadian banjir tersebut selanjutnya disebut sebagai Pola Distribusi Hujan (PDH) Ekstrem 2 dan Pola Distribusi Hujan (PDH) Ekstrem 3. Contoh hasil analisis hujan satelit untuk penentuan durasi dan pola distribusi hujan ekstrem dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Grafik distribusi hujan (Reza, 2025).

Hujan kala ulang untuk masing-masing DTA kemudian dilakukan perhitungan nilai hujan efektifnya, hujan efektif merupakan total jumlah hujan yang menjadi aliran setelah mengalami proses kehilangan air akibat infiltrasi dan hal lain yang mempengaruhi jumlah hujan yang menjadi aliran di sistem DAS. Pada penelitian ini perhitungan nilai hujan efektif yang terjadi menggunakan metode *Soil Conservation Service – Curve Number (SCS-CN)* (Chow et al., 1988., Joko Sujono 2023). Hujan efektif dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sum P_e = \frac{(\sum P - I_a)^2}{\sum P - I_a + S} \tag{2}$$

$$I_a = 0.2 S \tag{3}$$

P_e merupakan hujan efektif, P merupakan hujan yang terjadi pada DTA, I_a atau *initial abstraction* adalah faktor kehilangan atau infiltrasi yang terjadi sebelum hujan menjadi aliran permukaan atau *runoff* dan S merupakan fungsi dari nilai CN sebagai berikut:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25.4 \text{ (mm)} \tag{4}$$

2.4 Banjir Rancangan

Analisis banjir rancangan dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu penentuan hidrograf satuan, perhitungan nilai aliran dasar atau *baseflow* kemudian menghitung hidrograf banjir rancangan sesuai dengan kala ulang tahun yang ditentukan. Dalam penentuan hidrograf satuan, DTA yang tidak memiliki data debit terukur dalam durasi jam-jaman dapat menggunakan metode hidrograf satuan sintetik. Beberapa metode yang umumnya digunakan adalah metode HSS Nakayasu dan HSS SCS. Kedua metode ini menggunakan parameter yang berbeda untuk analisisnya seperti nilai kemiringan atau *slope* pada aliran sungai.

HSS Nakayasu

HSS Nakayasu dapat digambarkan seperti pada Gambar 4 serta dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

a. Debit Puncak

$$Q_p = \frac{AR_0}{3.6(0.3T_p + T_{0.3})} ; \tag{1}$$

b. Waktu Puncak

$$T_p = t_g + 0.8t_r \tag{2}$$

Untuk panjang sungai < 15 km: $t_g = 0.21L^{0.7}$ (3)

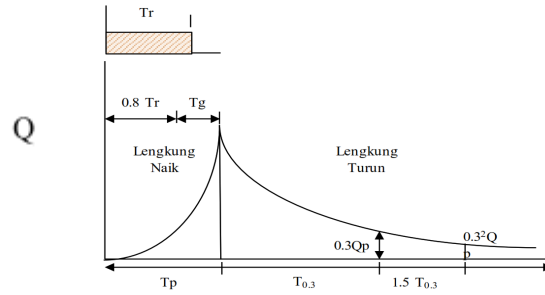
Untuk panjang sungai > 15 km: $t_g = 0.4 + 0.058L$ (4)

c. Satuan waktu dari curah hujan

$$T_r = 0.5t_g \text{ sampai } t_g \quad (5)$$

$$T_{0.3} = \alpha t_g \quad (6)$$

$$\alpha = 0.47(AL)^{0.25} / t_g \quad (7)$$



Gambar 4. HSS Nakayasu (Kurniawan, 2024).

d. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2.4} \quad (8)$$

e. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0.3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0.3 \left(\frac{t - T_p}{T_{0.3}}\right) \quad (9)$$

f. Pada kurva turun ($T_p + T_{0.3} < t < T_p + T_{0.3} + 1.5T_{0.3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0.3 \frac{\left(\frac{t - T_p}{T_{0.3}} + 0.5T_{0.3}\right)}{1.5T_{0.3}} \quad (10)$$

g. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0.3} + 1.5T_{0.3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0.3 \frac{\left(\frac{t - T_p}{T_{0.3}} + 0.5T_{0.3}\right)}{2T_{0.3}} \quad (11)$$

dimana

Q_p : merupakan debit puncak (m^3/s),

A : luas DAS (km^2),

R_o : curah hujan efektif (1 mm),

T_p : waktu dari permulaan sampai puncak hidrograf (jam),

$T_{0.3}$: waktu dari puncak sampai 0.3 kali debit puncak (jam),

t_g : waktu konsentrasi (jam),

L : panjang sungai utama (km),

T_r : satuan waktu dari curah hujan (jam),

α : koefisien karakteristik DAS (1.5-3.0).

HSS SCS

Parameter HSS SCS dapat dihitung dengan beberapa persamaan sebagai berikut:

$$Q_p = \left(\frac{CA}{T_p}\right) \tag{12}$$

$$T_p = \left(\frac{t_r}{2}\right) + t_p \tag{13}$$

$$t_p = 0.6 * T_c \tag{14}$$

$$t_b = 2.67 * T_p \tag{15}$$

dimana:

Q_p : debit puncak (m³/s),

A : luas DAS (km²),

T_p : waktu puncak (jam),

t_r : durasi hujan efektif dalam satu jam (jam),

t_p : waktu jeda dari titik hujan hingga mencapai puncak (jam),

T_c : waktu konsentrasi (jam),

t_b : waktu dasar HS (jam).

dimana $t_{rc} = 1.67 t_p$

selanjutnya ordinat hidrograf satuan untuk periode waktu berbeda dapat menggunakan Tabel 2 untuk membangun hidrograf limpasan langsung akibat hujan pada DAS.

Tabel 2. Acuan bentuk baku HSS SCS

t/T_p	Q_t/Q_p	t/T_p	Q_t/Q_p	t/T_p	Q_t/Q_p	t/T_p	Q_t/Q_p
0.0	0.000	1.4	0.750	0.7	0.770	2.6	0.130
0.1	0.015	1.5	0.660	0.8	0.890	2.8	0.098
0.2	0.075	1.6	0.560	0.9	0.970	3.0	0.075
0.3	0.160	1.8	0.420	1.0	1.000	3.5	0.036
0.4	0.280	2.0	0.320	1.1	0.980	4.0	0.018
0.5	0.430	2.2	0.240	1.2	0.920	4.5	0.009
0.6	0.600	2.4	0.180	1.3	0.840	5.0	0.004

Sumber: Triatmodjo, 2008.

Nilai kemiringan saluran pada penelitian ini menggunakan metode Taylor-Schwarz. Metode ini dikembangkan oleh *Department of Water Affairs (DWA)* dan *Natural Environment Research Council (NERC)* pada tahun 1975 (Gericke & Plesis, 2012).

$$S = \frac{L}{\sum_{i=1}^N \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \tag{16}$$

Dimana S merupakan kemiringan saluran, L panjang total sungai, l_i panjang masing-masing segmen sungai dan s_i kemiringan masing-masing segmen tersebut.

Besaran debit *baseflow* diperoleh dengan metode *digital filter methods* menggunakan persamaan Eckhardt dimana besarnya debit *baseflow* diperoleh berdasarkan data debit terukur pada pos duga air dengan mempertimbangkan kondisi aliran pada sungai yang ditinjau (Mao dkk, 2024). Untuk menghitung debit *baseflow* pada aliran sungai dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{bf} = \frac{(1-BFI_{max})\alpha Q_{bt-1} + (1-\alpha)BFI_{max} Q_t}{1-\alpha BFI_{max}} \quad (17)$$

$$BFI = \frac{\sum_{t=1} Q_{bt}}{\sum_{t=1} Q_t} \quad (18)$$

Dimana Q_{bf} merupakan debit *baseflow* (m^3/s), Q_{bt} debit aliran sebelumnya (m^3/s), Q_t debit total (m^3/s), BFI_{max} indeks maksimum dari aliran *baseflow* dan α konstanta resesi. Nilai BFI_{max} tergantung pada jenis tipe sungai untuk sungai tipe *perennial* atau sungai yang alirannya ada sepanjang tahun dengan akuifer berpori memiliki nilai BFI_{max} 0.8 dan 0.5 untuk sungai yang alirannya tergantung musim serta 0.25 untuk sungai *perennial* yang memiliki akuifer batuan keras (Mao dkk, 2024). Nilai kemiringan dan *baseflow* pada masing-masing DTA dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai kemiringan dan aliran dasar daerah tangkapan air

Daerah Tangkapan Air	S (<i>slope</i>)	Baseflow (m^3/s)
DTA Deli-Tangkahan	0.025	63.00
DTA Deli-Jembatan Sejarah	0.015	38.00

Hidrograf banjir rancangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Chow dkk, 1988):

$$Q_t = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{t-m+1} + BF_t \quad (19)$$

Dimana Q_t merupakan debit aliran pada total waktu t (m^3/s), P_m kedalaman hujan efektif (mm), U_{t-m} nilai hidrograf satuan (m^3/s), n waktu saat debit aliran dihitung, m waktu saat hujan efektif terjadi, BF_t aliran dasar (*baseflow*) (m^3/s). Penambahan aliran dasar (*baseflow*) pada hidrograf aliran permukaan langsung menjadikan persamaan tersebut menjadi persamaan untuk hidrograf aliran sungai (Chow dkk, 1988).

2.5 Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi hidrograf terhadap data observasi debit pada Pos Duga Air Deli-Jembatan Sejarah. Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan kombinasi antara data hujan observasi dan data satelit untuk merepresentasikan kondisi hujan aktual. Total curah hujan diperoleh dari data hujan harian observasi, sedangkan distribusi hujan jam-jaman diperoleh dari data satelit GPM yang dinormalisasi. Pendekatan ini dilakukan untuk mengatasi keterbatasan data hujan observasi resolusi temporal tinggi, sehingga tetap dapat merepresentasikan variasi intensitas hujan selama kejadian banjir.

Parameter yang digunakan dalam validasi adalah debit puncak banjir (Q_p), debit puncak banjir yang digunakan berupa debit observasi berdasarkan tinggi muka air terukur pada masing-masing kejadian banjir. Validasi hanya dapat dilakukan pada parameter debit puncak karena keterbatasan data terukur yang tersedia. Kinerja model dievaluasi menggunakan kesalahan relatif (*relative error*) yang dihitung sebagai berikut:

$$Error = \frac{Q_{sim} - Q_{obs}}{Q_{obs}} \quad (20)$$

dimana Q_{sim} merupakan debit puncak banjir dari hasil simulasi dan Q_{obs} merupakan debit puncak berdasarkan hasil tinjauan pada lokasi penelitian.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Curah Hujan

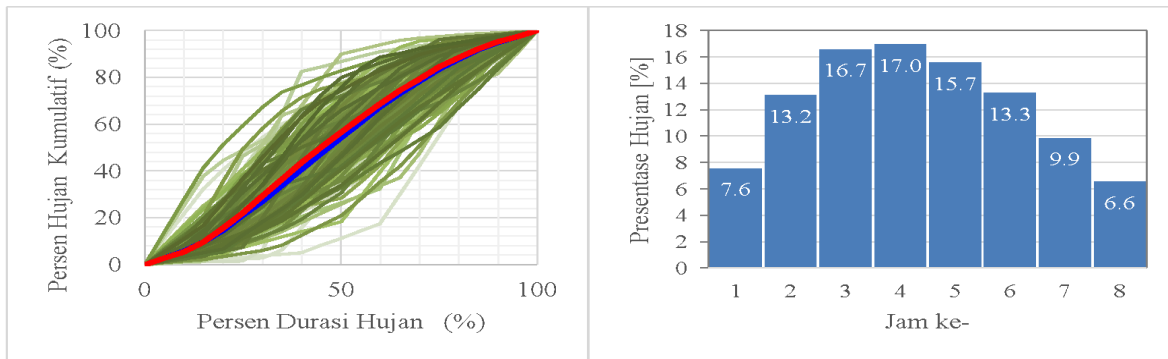
Berdasarkan analisis curah hujan rerata kawasan menggunakan metode Poligon *Thiessen* pada dua daerah tangkapan air (DTA) diperoleh variasi curah hujan harian maksimum yang dipilih untuk mewakili tiap tahunnya. Perbedaan ketersediaan data maupun kelengkapan data tiap stasiun hujan yang digunakan menghasilkan variasi poligon *Thiessen* yang berbeda pada masing-masing DAS. Hasil analisis curah hujan kawasan menggunakan metode Poligon *Thiessen* periode 2007–2025 menunjukkan fluktuasi curah hujan harian maksimum yang signifikan dengan puncak ekstrem terjadi pada tahun 2024 dimana intensitas mencapai 217,4 mm di DTA Deli-Tangkahan dan 194,7 mm di DTA Deli-Jembatan Sejarah. Hasil perhitungan hujan harian maksimum tahunan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hujan harian maksimum rata-rata tahunan

Tahun	DTA Deli-Tangkahan (mm)	DTA Deli- Jembatan Sejarah (mm)
2007	110.9	75.7
2008	101.2	72.4
2009	134.2	87.5
2010	105.1	65.0
2011	108.9	67.7
2012	148.3	93.3
2013	109.4	68.1
2014	113.1	88.4
2015	98.3	74.3
2016	107.9	66.1
2017	71.5	56.1
2018	57.6	73.2
2019	58.4	54.4
2020	78.7	63.0
2021	135.6	95.4
2022	127.5	90.9
2023	129.4	109.1
2024	217.4	194.7
2025	194.0	158.1

Intensitas curah hujan pada tahun 2024 di kedua DTA mengalami peningkatan signifikan dibandingkan dengan periode sebelumnya. Kondisi ini mengindikasikan kejadian hujan ekstrem yang berpotensi meningkatkan limpasan permukaan secara drastis, terutama pada kondisi tanah yang telah jenuh, sehingga memperbesar risiko terjadinya banjir.

Berdasarkan analisis distribusi hujan durasi pendek, digunakan tiga pola distribusi hujan ekstrem, yaitu PDH Ekstrem 1 (8 jam), PDH Ekstrem 2 (19 jam), dan PDH Ekstrem 3 (24 jam), dalam perhitungan hujan efektif. Pola distribusi hujan untuk PDH Ekstrem 1 disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik distribusi PDH Ekstrem 1 (8 jam).

Hasil analisis distribusi hujan ini menjadi dasar dalam mengidentifikasi karakteristik kejadian hujan ekstrem pada periode penelitian. Oleh karena itu, pembahasan selanjutnya difokuskan pada analisis frekuensi untuk menentukan tingkat kejarangan (kala ulang) hujan yang terjadi. Kondisi curah hujan yang menunjukkan adanya peningkatan signifikan serta kejadian hujan ekstrem tersebut perlu dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui tingkat kejarangannya. Oleh karena itu, dilakukan analisis frekuensi curah hujan untuk menentukan kala ulang kejadian hujan yang terjadi.

3.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi curah hujan dilakukan untuk menentukan kala ulang hujan yang terjadi pada saat kejadian banjir. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kejarangan kejadian hujan berdasarkan data historis, hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis frekuensi hujan ekstrem berdasarkan distribusi terpilih

Kala Ulang Tahun	DTA Deli-Tangkahan (mm)	DTA Deli- Jembatan Sejarah (mm)
10	170	133
25	198	159
50	218	178
100	237	197
500	281	241
1000	300	260

Hasil analisis frekuensi menunjukkan bahwa hujan aktual yang terjadi pada 27 November 2024 DTA Deli-Tangkahan berada pada kala ulang 50 tahun sedangkan hujan pada DTA Deli-Jembatan Sejarah berada pada kala ulang 90 tahun. Kala ulang hujan pada kejadian 27 November 2024 lebih tinggi jika dibandingkan dengan kala ulang kejadian hujan pada 27 November 2025, dimana DTA Deli-Tangkahan berada pada kala ulang 22 tahun sedangkan hujan pada DTA Deli-Jembatan Sejarah berada pada kala ulang 25 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kejadian hujan tersebut termasuk dalam kategori kejadian langka. Namun demikian, tingkat keparahan banjir tidak hanya dipengaruhi oleh hujan pada saat kejadian, tetapi juga oleh kondisi awal DAS akibat akumulasi hujan pada periode sebelumnya.

3.3 Pengaruh Hujan Sebelum Kejadian Banjir

Selain hujan pada saat kejadian, akumulasi hujan yang terjadi pada periode sebelumnya juga berperan penting dalam menentukan kondisi awal DAS. Akumulasi hujan yang terjadi selama beberapa hari sebelum kejadian banjir menyebabkan kondisi tanah menjadi jenuh terhadap air, sehingga meningkatkan limpasan permukaan yang mengakibatkan potensi banjir yang lebih parah. Seperti halnya kejadian banjir pada 27 November 2025 yang memiliki dampak lebih parah dari pada kejadian banjir pada 27 November 2024 akibat pengaruh hujan ekstrem yang masih terjadi pada tanggal kejadian banjir. Hal ini berbeda saat kejadian banjir 27 November 2024 dimana intensitas hujan pada hari kejadian sudah menurun. Temuan ini menunjukkan bahwa faktor utama pemicu banjir pada tanggal 27 November 2024 dan 27 November 2025 adalah akibat intensitas hujan yang sangat ekstrem terjadi selama beberapa hari berturut-turut. Besar intensitas hujan yang terjadi sebelum kejadian banjir ekstrem terjadi dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hujan harian sebelum kejadian banjir

Tanggal	DTA Deli-Tangkahan (mm)		DTA Deli- Jembatan Sejarah (mm)	
	2024	2025	2024	2025
24 November	55.9	49.1	34.0	30.3
25 November	108.1	112.5	82.8	71.1
26 November	217.4	194.0	194.7	158.1
27 November	11.5	116.6	13.0	126.0

3.4 Pengaruh Tata Guna Lahan

Selain faktor curah hujan sebagai pemicu utama, respons hidrologi DAS juga dipengaruhi oleh karakteristik fisik wilayah, terutama tata guna lahan yang direpresentasikan melalui nilai CN. Perubahan tata guna lahan pada kedua DTA menunjukkan karakteristik yang kontras. DTA Deli–Tangkahan cenderung memiliki respon limpasan yang relatif kecil karena dominasi tutupan hutan yang masih tinggi. Sebaliknya, DTA Deli–Jembatan Sejarah menunjukkan kecenderungan peningkatan koefisien limpasan akibat ekspansi kawasan permukiman. Meskipun demikian, perubahan luasan tata guna lahan yang terjadi relatif terbatas, sehingga kontribusinya terhadap peningkatan debit banjir bersifat sekunder dibandingkan pengaruh hujan ekstrem yang secara statistik termasuk dalam kategori kejadian sangat langka. Hasil analisis tata guna lahan pada kedua DTA dapat dilihat pada Tabel 6.

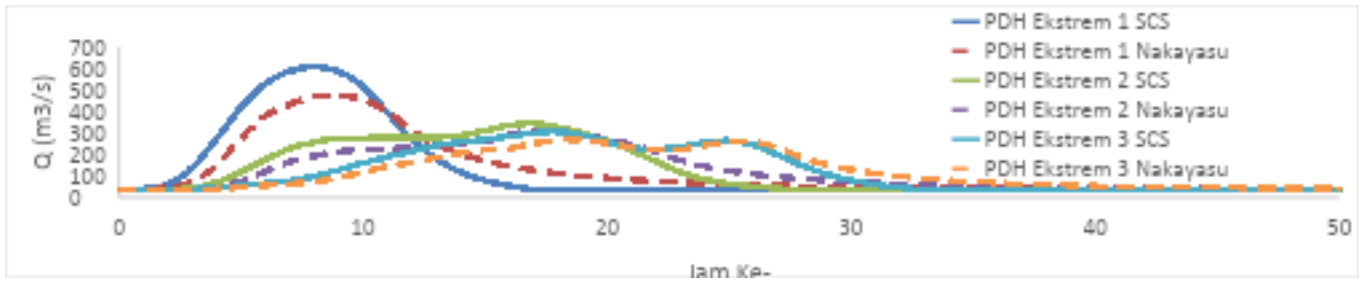
Tabel 6. Hasil analisis tata guna lahan

Jenis Tutupan Lahan	DTA Deli-Tangkahan		DTA Deli-Jembatan Sejarah	
	2017 (%)	2024 (%)	2017 (%)	2024 (%)
Air	0.13	0.10	0.47	0.47
Hutan	89.39	90.97	78.08	79.66
Perumahan	6.71	8.33	9.15	11.86
Lahan Pertanian	2.80	0.30	11.64	7.79
Lahan Terbuka/Semak	0.98	0.31	0.67	0.22
Rawa	0.00	0.10	0.00	0.00

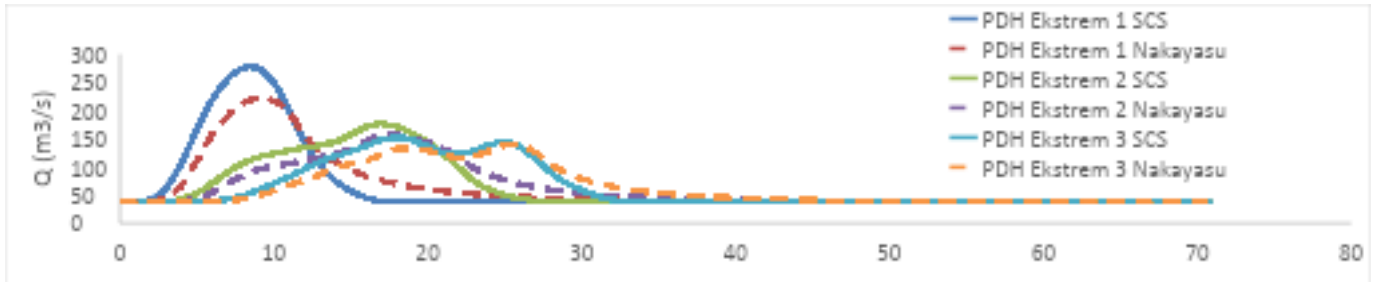
Berdasarkan hasil analisis tersebut, diperoleh nilai CN sebesar 61 untuk DTA Deli–Tangkahan untuk tahun 2017 dan 2024 dimana nilai CN relatif sama hal ini menunjukkan wilayah hulu sungai tidak mengalami perubahan tata guna lahan yang signifikan. Sedangkan untuk DTA Deli–Jembatan Sejarah pada tahun 2017 diperoleh nilai CN sebesar 70 dan mengalami penurunan di tahun 2024 menjadi 67. Perbedaan nilai CN ini mengindikasikan adanya variasi kapasitas infiltrasi pada kedua DTA, di mana DTA Deli–Jembatan Sejarah memiliki potensi limpasan yang lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan peningkatan kawasan terbangun di wilayah tersebut yang cenderung mengurangi kemampuan infiltrasi dan meningkatkan aliran permukaan. Selanjutnya, untuk mengetahui respons DAS secara kuantitatif, dilakukan analisis hidrograf untuk memperoleh debit banjir yang terjadi.

3.5 Simulasi Hidrograf Banjir

Simulasi hidrograf banjir dilakukan dengan menggunakan nilai CN terkini menggunakan dua model HSS untuk kejadian banjir pada 27 November 2024 dan 27 November 2025 serta empat banjir rancangan yaitu Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} dan Q_{100} . Gambar 6 menunjukkan hidrograf banjir rancangan pada saat kejadian banjir ekstrem 27 November 2024 di DTA Deli-Tangkahan, dimana masing masing HSS digunakan tiga pola distribusi hujan ekstrem yang berbeda berbeda. Debit puncak banjir tertinggi yang dihasilkan untuk kejadian banjir 27 November 2024 dengan menggunakan curah hujan 26 November 2024 untuk masing-masing distribusi adalah $606.77 \text{ m}^3/\text{s}$, $343.15 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $305.48 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan besar debit banjir untuk kejadian banjir 27 November 2025 adalah sebesar $275.16 \text{ m}^3/\text{s}$, $176.49 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $152.15 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk masing-masing distribusi.

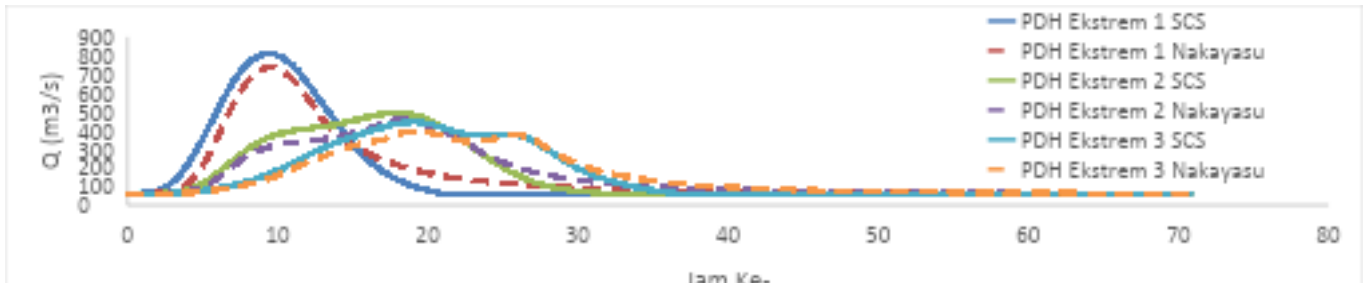


Gambar 6. Perbandingan hidrograf banjir 27 November 2024 di DTA Deli-Tangkahan.

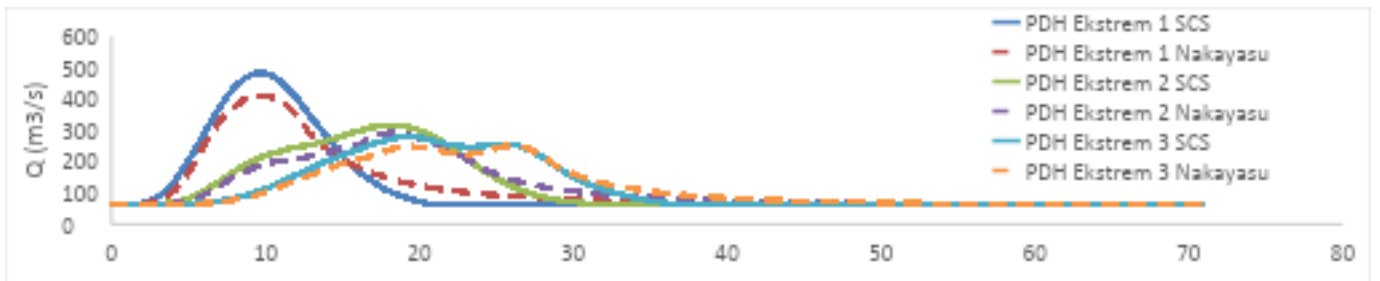


Gambar 7. Perbandingan hidrograf banjir 27 November 2025 di DTA Deli-Tangkahan.

Hidrograf banjir rancangan untuk kejadian banjir ekstrem 27 November 2024 di DTA Deli-Jembatan Sejarah dapat dilihat pada Gambar 8. Debit puncak banjir tertinggi yang dihasilkan untuk masing-masing HSS dan jenis pola distribusi hujan ekstrem adalah sebesar 805.44 m^3/s , 494.46 m^3/s dan 444.84 m^3/s . Sedangkan besar debit banjir untuk kejadian banjir 27 November 2025 adalah sebesar 480.73 m^3/s , 316.72 m^3/s , dan 278.50 m^3/s untuk masing-masing distribusi.



Gambar 8. Perbandingan hidrograf banjir 27 November 2024 di DTA Deli-Jembatan Sejarah.



Gambar 6. Perbandingan hidrograf banjir 27 November 2025 di DTA Deli-Jembatan Sejarah.

Debit puncak banjir tertinggi yang dihasilkan untuk masing-masing kala ulang Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} dan Q_{100} pada DTA Deli-Tangkahan adalah sebesar 492.25 m^3/s , 596.68 m^3/s , 671.95 m^3/s dan 743.80 m^3/s untuk metode HSS SCS dengan PDH Ekstrem 1. Sedangkan debit puncak tertinggi untuk kala ulang yang sama dengan metode HSS

Nakayasu dan pola durasi hujan yang sama adalah sebesar 387.25 m³/s, 466.20 m³/s, 523.07 m³/s dan 577.34 m³/s. Untuk hasil debit puncak selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan debit banjir DTA Deli-Tangkahan

Kala Ulang	PDH Ekstrem 1		PDH Ekstrem 2		PDH Ekstrem 3	
	HSS SCS (m ³ /s)	HSS Nakayasu (m ³ /s)	HSS SCS (m ³ /s)	HSS Nakayasu (m ³ /s)	HSS SCS (m ³ /s)	HSS Nakayasu (m ³ /s)
10	492.25	387.25	264.85	239.72	232.93	202.82
25	596.68	466.20	311.13	283.11	275.74	240.79
50	671.95	523.07	344.09	314.19	306.35	268.23
100	743.80	577.34	375.32	343.73	335.40	294.38
27-Nov-24	606.77	474.35	343.15	313.30	305.48	267.44
27-Nov-25	275.16	217.27	176.49	158.00	152.15	138.53

Selanjutnya debit puncak banjir tertinggi yang dihasilkan untuk masing-masing kala ulang Q_{10} , Q_{25} , Q_{50} dan Q_{100} di DTA Deli-Jembatan Sejarah adalah sebesar 545.21 m³/s, 676.14 m³/s, 772.84 m³/s dan 870.10 m³/s untuk metode HSS SCS dengan PDH Ekstrem 1. Sedangkan debit puncak tertinggi untuk kala ulang yang sama dengan metode HSS Nakayasu adalah sebesar 308.61 m³/s, 346.62 m³/s, 659.83 m³/s dan 740.79 m³/s. Hasil debit puncak untuk kedua metode HSS dan pola durasi hujan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan debit banjir DTA Deli-Jembatan Sejarah

Kala Ulang	PDH Ekstrem 1		PDH Ekstrem 2		PDH Ekstrem 3	
	HSS SCS (m ³ /s)	HSS Nakayasu (m ³ /s)	HSS SCS (m ³ /s)	HSS Nakayasu (m ³ /s)	HSS SCS (m ³ /s)	HSS Nakayasu (m ³ /s)
10	545.21	308.61	334.96	308.61	292.44	263.41
25	676.14	346.62	376.97	346.62	358.22	317.83
50	772.84	659.83	451.39	417.74	404.29	358.41
100	870.10	740.79	500.35	463.95	450.39	399.14
27-Nov-24	802.74	678.96	494.46	458.38	436.00	394.23
27-Nov-25	480.73	409.31	409.31	291.62	278.50	250.63

Secara visual dapat dicermati adanya perubahan karakteristik antara debit puncak banjir rancangan menggunakan PDH Ekstrem 1 dengan PDH Ekstrem 2 dan PDH Ekstrem 3, dimana durasi hujan yang lebih pendek menghasilkan debit puncak yang lebih tinggi hal ini dikarenakan limpasan permukaan terbentuk lebih cepat dan terkonsentrasi dalam waktu yang lebih singkat. Hidrograf banjir rancangan dengan PDH Ekstrem 2 dan 3 menunjukkan bahwa waktu konsentrasi mempengaruhi debit puncak yang terjadi. Secara konsisten pada kedua DTA HSS SCS menghasilkan debit yang lebih tinggi dibandingkan metode HSS Nakayasu dimana debit tertinggi dihasilkan dengan PDH Ekstrem dengan durasi hujan selama 8 jam. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik hidrograf banjir rancangan yang dihasilkan menggunakan metode HSS SCS memiliki konsentrasi aliran yang lebih cepat sehingga hidrograf yang dihasilkan lebih runcing dan aliran permukaan dapat terkonsentrasi dengan cepat.

Debit puncak tertinggi adalah sebesar 743.80 m³/s di DTA Deli-Tangkahan dan 870.10 m³/s di DTA Deli-Jembatan Sejarah dengan menggunakan metode HSS SCS dan PDH Ekstrem 1. Sementara itu, debit puncak banjir pada kejadian 27 November 2024 di DTA Deli-Tangkahan adalah sebesar 606.77 m³/s berada di antara debit rancangan kala ulang 50 hingga 100 tahun dan debit banjir pada 27 November 2025 sebesar 474.35 m³/s yang berada di antara debit rancangan kala ulang 25 hingga 50 tahun. Selanjutnya debit puncak tertinggi di DTA Deli-Jembatan Sejarah dengan menggunakan metode HSS SCS dan PDH Ekstrem 1 adalah sebesar 805.44 m³/s untuk kejadian banjir 27 November 2024 dan 480.73 m³/s untuk kejadian banjir 27 November 2025. Nilai debit puncak tertinggi menggunakan metode HSS Nakayasu untuk kejadian 27 November 2024 adalah sebesar 678.96 m³/s dan 409.31 m³/s untuk kejadian 27 November 2025.

Hasil simulasi hidrograf menunjukkan variasi debit banjir yang dipengaruhi oleh pola distribusi hujan dan metode yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan validasi terhadap data observasi untuk mengetahui tingkat kesesuaian model dengan kondisi aktual di lapangan.

3.6 Validasi dengan Data Observasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi debit banjir dengan data observasi di lapangan untuk mengetahui tingkat akurasi model yang digunakan. Hasil pencatatan tinggi muka air pada DTA Deli-Jembatan Sejarah menunjukkan bahwa besar debit puncak yang terjadi pada 27 November 2024 adalah sebesar 458.86 m³/s dan untuk kejadian banjir pada 27 November 2025 adalah sebesar 423.36 m³/s. Hasil validasi debit simulasi dengan debit observasi pada masing-masing kejadian dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Hasil validasi debit banjir terhadap debit observasi

Kejadian Banjir	Metode	Pola Distribusi Hujan	Q _{Simulasi} (m ³ /s)	Q _{Observasi} (m ³ /s)	Error (%)
27-Nov-24	SCS	PDH Ekstrem 1	802.74	458.86	75
27-Nov-24	SCS	PDH Ekstrem 2	494.46	458.86	8
27-Nov-24	SCS	PDH Ekstrem 3	436.00	458.86	-5
27-Nov-24	Nakayasu	PDH Ekstrem 1	678.96	458.86	48
27-Nov-24	Nakayasu	PDH Ekstrem 2	458.38	458.86	0
27-Nov-24	Nakayasu	PDH Ekstrem 3	394.23	458.86	-14
27-Nov-25	SCS	PDH Ekstrem 1	480.73	423.36	14
27-Nov-25	SCS	PDH Ekstrem 2	409.31	423.36	-3
27-Nov-25	SCS	PDH Ekstrem 3	278.50	423.36	-34
27-Nov-25	Nakayasu	PDH Ekstrem 1	409.31	423.36	-3
27-Nov-25	Nakayasu	PDH Ekstrem 2	291.62	423.36	-31
27-Nov-25	Nakayasu	PDH Ekstrem 3	250.63	423.36	-41

Tabel 9 menunjukkan bahwa pada kejadian banjir 27 November 2024 metode HSS Nakayasu dengan PDH Ekstrem 2 mampu memberikan hasil paling akurat dengan *error* mendekati 0%. Pada kejadian banjir 27 November 2025, metode HSS SCS dengan PDH Ekstrem 2 dan metode Nakayasu dengan PDH Ekstrem 1 memberikan hasil terbaik dengan *error* sekitar -3%. Secara umum PDH Ekstrem 2 menunjukkan hasil yang paling konsisten dan merepresentasikan kondisi aktual.

Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan debit puncak banjir dengan tingkat akurasi yang baik, terutama pada kejadian 2024. Penggunaan kombinasi data hujan observasi dan distribusi temporal dari data satelit memberikan pendekatan yang lebih representatif dalam menggambarkan kondisi hujan aktual dibandingkan penggunaan salah satu sumber data secara tunggal.

4 KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa banjir ekstrem di Kota Medan pada 27 November 2024 dan 27 November 2025 terutama dipicu oleh hujan dengan intensitas sangat tinggi yang menghasilkan limpasan permukaan signifikan di DAS Deli. Analisis frekuensi menunjukkan bahwa kejadian hujan di DTA Deli-Tangkahan memiliki kala ulang sekitar 50 tahun (2024) dan 22 tahun (2025), sedangkan di DTA Deli-Jembatan Sejarah masing-masing mendekati 100 tahun (2024) dan sekitar 25 tahun (2025). Hasil ini mengindikasikan bahwa kejadian banjir tersebut termasuk dalam kategori peristiwa hidrologi ekstrem yang ditunjukkan oleh nilai curah hujan dengan kala ulang hingga 50-100 tahun. Meskipun perubahan tata guna lahan mempengaruhi respons hidrologi DAS, kontribusinya relatif lebih kecil dibandingkan faktor hujan ekstrem sebagai pemicu utama.

Hasil validasi model hidrograf menunjukkan bahwa metode yang digunakan mampu merepresentasikan debit banjir yang terjadi dengan akurasi yang baik, khususnya pada simulasi dengan pola distribusi hujan tertentu. Pada kejadian banjir 27 November 2024 hasil validasi menunjukkan metode HSS Nakayasu dengan PDH Ekstrem 2 memiliki hasil paling mendekati dengan nilai *error* mendekati 0%, sedangkan pada kejadian banjir 27 November 2025 metode HSS SCS dengan PDH Ekstrem 2 dan metode HSS Nakayasu dengan PDH Ekstrem 1 menunjukkan hasil terbaik dengan *error* sekitar -3%. Secara umum pola distribusi hujan PDH Ekstrem 2 mampu memberikan hasil yang paling konsisten dalam merepresentasikan kondisi aktual.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa debit banjir yang terjadi berada pada debit banjir rancangan kala ulang 50-100 tahun. Oleh karena itu, upaya mitigasi banjir di Kota Medan perlu difokuskan pada peningkatan kapasitas sistem sungai, konservasi wilayah hulu DAS, pengendalian tata guna lahan, serta penguatan sistem peringatan dini berbasis pemantauan hujan ekstrem.

REFERENSI

- Aeni, Palsapah., and Anwar M.Khoirul (2024). "Hydrometeorological Disaster: Challenges and Mitigation In Indonesia." *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, Volume 5 No.1.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2024). "Data Bencana Banjir dan Cuaca Ekstrem". BNPB. <https://gis.bnpb.go.id/>
- Balai Teknik Bendungan. (2022). "Modul 1 Analisis Curah Hujan". Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Chow, V.T., Maidment, David R., Mays, Larry W (1988). "Applied Hydrology." McGraw-Hill International Editions.
- Gericke, O J., Plesis, J A du (2012). "Catchment parameter analysis in flood hydrology using GIS applications." *Journal Of The South African Institution Of Civil Engineering*, Volume 54 No. 2., 15-26.
- Harto, Sri (1991). "Hidrologi Terapan." UGM Press.
- Mao, Boyang., Wang, Xihua., Jia, Shunqing., and Liu Zejun (2024). " Multi-methods to investigate the baseflow: Insight from watershed scale spatiotemporal variety perspective." *Ecological Indicators*, Volume 158.
- Putra, Aprizon., Dewata, Indang., and Gusman, Mulya (2021). "Literature Reviews: Hydrometeorological Disaster and Climate Change Adaptation Efforts." *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*. Volume 5, 7-12.
- Risaldi, Reza (2025). "Simulasi Operasi Waduk Ameroro Di Kabupaten Konawe Untuk Pengendalian Banjir." Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sabrina, Nur Thifal (2021). "Analisa Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Debit Banjir Das Deli Menggunakan Metode Hss Nakayasu." Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Satyaningsih, Ratna., Jetten, Victor., Ettema, Janneka., et.all. "Dynamic rainfall thresholds for landslide early warning in Progo Catchment, Java, Indonesia". *Natural Hazards* 119:2133-2158
- Simanjuntak, I. R. U., Sihombing, T. M. P., Yuliyanto, A., Sitepu, A. R. H., Zhafira, E., P, K., and Sinuraya, W. Z. (2024). "Analisis Kapasitas Sungai Deli Dalam Rangka Penanggulangan Banjir Kota Medan Menggunakan Aplikasi HEC-RAS". *Jurnal Teknik Sipil*, 13(1).
- Sujono, Joko (2023). "Hidrologi Terapan Transformasi Hujan-Aliran dengan HEC-HMS". UGM Press
- Susilowati., Kusumatuti, Dyah Indriana (2024). " Hydrometeorological Disaster Mitigation Through Rainfall Intensity Mapping Using IDF in Sumatera Island, Indonesia." *International Information and Engineering Technology Association*, 571-579.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. "Hidrologi Terapan. Beta Offset"
- Yanfatriani, Elsa., Marzuki, Marzuki., Vonnisa, Mutya., et.all (2024). "Extreme Rainfall Trends and Hydrometeorological Disasters in Tropical Regions: Implications for Climate Resilience." *Emerging Science Journal*, Vol. 8 No. 5.