

ANALISIS PERUBAHAN CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM TERHADAP BANJIR RANCANGAN DAN KURVA DURASI DI DAS CILIWUNG DAN CISADANE

Wahyu Gendam Prakoso^{1*}, Novira Anastasya², Rostigga Ananda³ dan Heny Purwanti⁴

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan No. 1, Kota Bogor

e-mail: wahyugendamprakoso@unpak.ac.id

² Alumni Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan No. 1, Kota Bogor

e-mail: noviranastasya25@gmail.com

³ Alumni Studi Teknik Sipil, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan No. 1, Kota Bogor

e-mail: rotiggaananda15@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan No. 1, Kota Bogor

e-mail: henypurwanti@unpak.ac.id

ABSTRAK

Perubahan iklim mengubah variabilitas iklim global dan berdampak pada pola curah hujan ekstrem, yang berimplikasi langsung pada rekayasa sipil dan infrastruktur sumber daya air. Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung dan DAS Cisadane sebagai sistem hidrologi utama Jabodetabek menjadi contoh representatif wilayah yang terdampak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren curah hujan harian maksimum di kedua wilayah serta mengkaji implikasinya terhadap perencanaan hidrologi melalui hujan rancangan dan kurva IDF. Data curah hujan harian maksimum digunakan dari enam stasiun BMKG: Tangerang Selatan (Klimatologi Tangerang Selatan, Meteorologi Soekarno–Hatta, Meteorologi Budiarto) periode 1990–2020, dan DAS Ciliwung (Meteorologi Citeko, Klimatologi Jawa Barat, Meteorologi Maritim Tanjung Priok) periode 1992–2022. Analisis tren dilakukan dengan uji Mann–Kendall dan Sen’s Slope, sedangkan hujan rancangan ditentukan dengan distribusi Log Pearson III. Hasil analisis menunjukkan di Tangerang Selatan terdapat tren bervariasi (positif dan negatif) namun tidak signifikan (nilai $Z \pm 1$), sementara di DAS Ciliwung terdapat kecenderungan meningkat dengan nilai Q_{median} positif pada ketiga stasiun. Hujan rancangan kala ulang 100 tahun di Tangerang Selatan mencapai 206,25 mm, sedangkan di Citeko mencapai 230 mm. Perbedaan ini menunjukkan peran urbanisasi di Tangerang Selatan dan peran topografi serta kondisi DAS di Ciliwung. Hasil penelitian menegaskan perlunya adaptasi desain drainase, sistem pengendali banjir, serta kebijakan pengelolaan air berbasis DAS terhadap dinamika iklim.

Kata kunci: Perubahan Iklim, Curah Hujan Ekstrem, Mann–Kendall, Sen’s Slope, Kurva IDF

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global telah memengaruhi siklus hidrologi melalui perubahan curah hujan, suhu, dan kejadian ekstrem (IPCC, 2021). Indonesia sebagai negara tropis sangat rentan terhadap perubahan ini, terutama di wilayah perkotaan dan DAS utama. Kawasan Jabodetabek dikenal sebagai kawasan urban dengan intensitas banjir perkotaan tinggi (BPBD, 2020). Sementara itu, DAS Ciliwung dan Cisadane memiliki peran vital bagi Jakarta dan sekitarnya, di mana perubahan pola hujan berkontribusi pada kejadian banjir tahunan (Surmaini et al., 2015). Kajian terhadap tren curah hujan ekstrem penting untuk memperbaharui standar desain infrastruktur air seperti drainase, bendungan, maupun sistem pengendalian banjir (Boer, 2003). Penelitian ini menggabungkan dua studi kasus di DAS Ciliwung dan Cisadane untuk memberikan gambaran komprehensif.

Sungai Ciliwung dan Cisadane, yang melintasi kawasan padat penduduk hingga wilayah ibukota, kini mengalami peningkatan frekuensi banjir akibat fenomena hujan ekstrem dan ketidakpastian durasi hujan harian maksimum. Kondisi ini diperparah dengan pesatnya pembangunan, perubahan tata guna lahan, dan erosi lahan yang menambah masalah sedimentasi dan penurunan daya resap air. Badai atau hujan deras dengan durasi pendek maupun panjang dapat menyebabkan air meluap dan berdampak luas terutama di area hilir sungai yang padat penduduk.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kecenderungan (trend) perubahan curah hujan harian maksimum di DAS Ciliwung dan Cisadane dalam kurun waktu dekade panjang berdasarkan data dari beberapa stasiun klimatologi utama., memetakan perubahan karakteristik curah hujan ekstrem secara spasial sebagai dasar penentuan zona rawan dan mitigasi hidrologi, dan mengkaji dampak perubahan curah hujan harian maksimum terhadap besaran banjir rancangan serta menyusun kurva intensitas durasi frekuensi (IDF), sebagai alat pendukung dalam perencanaan sistem drainase, pengendalian banjir, dan proteksi infrastruktur air.

2. LANDASAN TEORI

Hidrologi DAS menekankan pentingnya pemahaman tentang proses siklus air, terutama presipitasi, dan respon daerah aliran sungai terhadap curah hujan ekstrem. Perubahan kondisi DAS (tata guna lahan, urbanisasi) dan variabilitas iklim akan langsung mempengaruhi hubungan antara hujan dan limpasan banjir (Suripin & Kurniani, 2016). Perubahan iklim global telah terbukti meningkatkan intensitas curah hujan harian maksimum serta mengurangi jumlah hari hujan di banyak DAS tropis. Kenaikan suhu atmosfer, anomali El Niño dan La Niña, serta perubahan pola musim didokumentasikan membawa perubahan penting pada statistik hujan ekstrem di Indonesia (IPCC, 2007; WWF, 2012; Boer, 2003; Suripin & Hilmi, 2015).

Hujan rancangan adalah curah hujan maksimum pada periode ulang tertentu (misal 2, 5, 25, 100 tahun) yang digunakan untuk desain sistem drainase dan banjir. Penentuan hujan rancangan menggunakan analisis statistik seperti Log Pearson III dan Gumbel distribution (Winarsih, 2009). Kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) sangat penting untuk memprediksi debit puncak dan mitigasi risiko banjir di kawasan DAS padat penduduk (USACE, 2010; Suripin & Kurniani, 2016).

Penelitian terdahulu pada DAS Opak, Kelantan, dan Sungai Ciliwung menunjukkan penggunaan metode tren non-parametrik (Mann-Kendall, Sen Slope) untuk mendeteksi perubahan jangka panjang curah hujan harian maksimum (Othman et al., 2016; Anastasya et al., 2021; Ananda et al., 2023). Perubahan karakteristik hujan ekstrem secara statistik akan meningkatkan debit banjir rancangan dan risiko banjir di DAS urban (Emanuel, 2005; IPCC, 2008; PEACE, 2007; Winarsih, 2009)

Untuk mendeteksi perubahan pola curah hujan maksimum, digunakan uji tren statistik seperti Mann-Kendall maupun uji tren linier sederhana serta Sen's Slope Estimator. Cara ini sangat relevan untuk analisis deret waktu jangka panjang pada DAS skala besar dan urban, melengkapi statistik deskriptif yang memberi gambaran pergeseran tipe hujan ekstrem setiap dekade penelitian. Hasil kajian di Kota Sorong, Manado, dan Kalimantan menunjukkan tren penurunan frekuensi hujan rendah dan kecenderungan pergeseran hujan ekstrem (Astuti & Habaita, 2013; Aditya, Gusmayanti, & Sudrajat, 2021)

Penentuan debit banjir rancangan pada DAS Ciliwung dan Cisadane dilakukan melalui analisis frekuensi curah hujan harian maksimum dengan metode statistik, diantaranya Gumbel, Log Pearson III, dan metode Rasional untuk debit puncak. Dengan pendekatan ini, kurva debit banjir rancangan dapat dianalisis untuk berbagai periode ulang (misal 2, 5, 10, 25, 50, 100 tahun) sehingga perencanaan mitigasi risiko banjir di DAS strategis menjadi lebih akurat dan berbasis data terbaru (Febrianti, Yani, & Badruzzaman, 2022).

Penyusunan kurva IDF penting untuk memperoleh hubungan intensitas hujan, durasi kejadian, dan frekuensi (periode ulang) secara empiris maupun matematis. Kurva IDF menjadi referensi utama untuk desain sistem drainase, saluran banjir, dan bangunan perlindungan air di DAS urban. Penerapan metode Mononobe untuk transformasi hujan harian ke hujan jam-jaman dan analisis frekuensi menghasilkan rumus empiris IDF spesifik setiap DAS, seperti pada kajian DAS Gajahwong, Lombok Timur, dan Bekasi (Astuti & Habaita, 2013; Yulius, 2014; Harto, 1993)

Urbanisasi di DAS Ciliwung dan Cisadane menyebabkan berkurangnya area resapan, meningkatnya runoff, dan tingginya risiko banjir pada wilayah hilir, khususnya Jakarta. Studi oleh Zamroni (2017) dan analisis historis kondisi Sungai Ciliwung memperkuat dampak penurunan kualitas lingkungan DAS akibat pembangunan tanpa mitigasi, sehingga perencanaan banjir harus terus diperbaharui menggunakan data dan analisis terbaru.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Data Penelitian

Data penelitian menggunakan data hujan harian periode 1990 - 2020 yang diperoleh dari stasiun hujan terpilih yang telah dilakukan pengujian awal sebagai pre- screening kualitas dan konsistensi data, mewakili sebaran geografis pada DAS Ciliwung dan Cisadane. Daftar stasiun hujan yang digunakan adalah sebagai berikut

Tabel 1. Stasiun Hujan Sumber Data Penelitian

DAS	Nama Stasiun Hujan
Ciliwung	Sta Citeko ; Sta Klim Jawa Barat (Bogor) ; Sta Maritim Tanjung Priok
Cisadane	Sta Klim Tangerang Selatan , Sta Budiarto , Sta Soekarno Hatta

3.2. Metode Analisis

Secara garis besar analisis data hujan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Uji Mann–Kendall untuk mendeteksi tren signifikan.
- Sen's Slope Estimator untuk menentukan kemiringan tren (mm/tahun).
- Distribusi Log Pearson III untuk menentukan hujan rancangan kala ulang 2–100 tahun.
- Analisis kurva IDF dan Pemetaan spasial (IDW) untuk memvisualisasikan kecenderungan.

Langkah-langkah yang digunakan dalam uji Mann-Kendall adalah sebagai berikut:

1. Merumuskan Hipotesis awal (H_0) dimana apabila H_0 = tidak ada kecenderungan.
2. Menetapkan signifikan level (α), $\alpha = 0,01$ dan $\alpha = 0,05$.
3. Menentukan nilai statistik (S)

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

Dimana:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{untuk } x > 0 \\ 0 & \text{untuk } x = 0 \\ -1 & \text{untuk } x < 0 \end{cases}$$

4. Menentukan nilai Varian Statistik $V(S)$.

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

Dimana:

n = jumlah data hujan

5. Menentukan nilai z (kriteria pengujian normal).

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & \text{untuk } S > 0 \\ 0 & \text{untuk } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & \text{untuk } S < 0 \end{cases}$$

Dimana:

z = nilai statistik

6. Menguji Hipotesis dan mengambil kesimpulan.

Langkah-langkah yang digunakan dalam uji Sen's Slope adalah sebagai berikut:

1. Data curah hujan harian maksimum stasiun kurun waktu 1990-2020.
2. Menghitung nilai Q_i ,

$$Q_i = \frac{x_j - x_i}{j - i} \text{ untuk } i = 1, \dots, N \text{ dan } j < i$$

Dimana:

j dan i = urutan data hujan

3. Mengurutkan nilai Q_i dari terkecil ke terbesar.
4. Menentukan nilai Q median,

$$Q_{med} = \frac{Q(N+1)}{2} \text{ jika } N \text{ ganjil}$$

$$\frac{Q\left(\frac{N}{2}\right) + Q\left(\frac{N+2}{2}\right)}{2} \text{ jika } N \text{ genap}$$

Dimana:

n = jumlah data hujan

5. Menghitung koefisien signifikan

(Tingkat signifikan 95% dan 99%)

$$Ca = Z \alpha / 2 \sqrt{Var(S)}$$

6. Menentukan batas median batas atas dan batas bawah

$$M1 = \frac{(n-Ca)}{2}$$

$$M2 = \frac{(n+Ca)}{2}$$

Dimana;

M1 = nilai median batas atas

M2 = nilai median batas bawah

N = jumlah data Qi

7. Menentukan nilai slope Qmin dan Q maks;

$$Qmin = Interpolasi \frac{(n-Ca)}{2}$$

$$Qmax = Intepolasi \frac{(n+Ca)}{2}$$

8. Persamaan untuk grafik kecenderungan;

$$f(\text{tahun}) = Q(\text{tahun uji} - \text{tahun awal}) + B$$

dimana;

Q = nilai slope

B = konstanta

- Membuat peta kecenderungan hujan dan peta perubahan karakteristik hujan menggunakan *software ArcGis*.

1. $Z = 0$ maka tidak ada kecenderungan,
2. $Z_{hit} > Z_{a/2}$ kecenderungan meningkat signifikan,
3. $0 < Z_{hit} < Z_{a/2}$, kecenderungan meningkat tidak signifikan,
4. $-Z_{hit} < -Z_{a/2}$, kecenderungan menurun signifikan,
5. $-Z_{a/2} < Z_{hit} < 0$, kecenderungan menurun tidak signifikan.

- Implikasi terhadap rekayasa sipil, pentingnya mempelajari perubahan hujan ekstrem untuk antisipasi jangka panjangnya seperti dalam perancangan drainase, menggambarkan kurva IDF;

1. Menghitung Intensitas hujan Jam-jaman

$$I = \frac{R24}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}$$

2. Menggambar kurva IDF.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

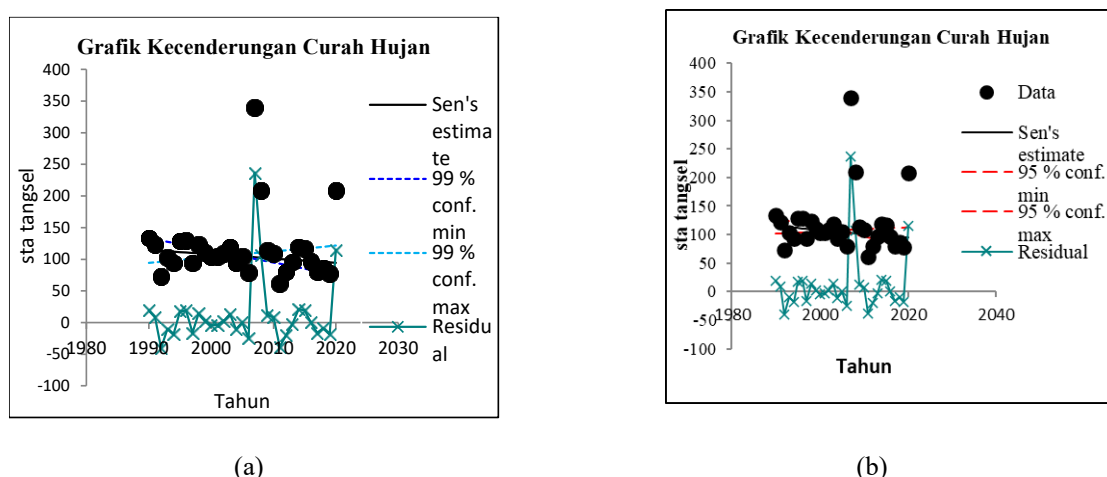
Kecenderungan trend perubahan data hujan harian ekstrem dianalisis menggunakan uji trend dengan Mann- Kendall

Test , kuantifikasi besaran perubahannya diestimasi dengan menggunakan Sen's Slope Estimate . Secara ringkas hasil uji trend dan estimasi perubahan data hujan harian ekstrim dapat dilihat dalam Tabel 2. Analisis Trend Curah Hujan Harian Maksimum .

Tabel. 2. Hasil Analisis Trend Curah Hujan Harian Maksimum

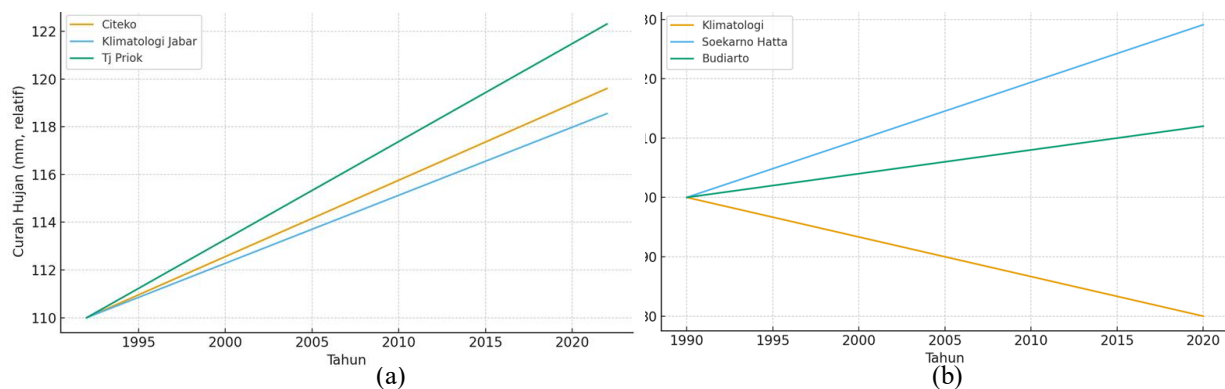
DAS Stasiun	/ Periode	Z MK	Signifikan	Qmedian (mm/th)	Tren	Faktor Pengaruh Dominan
Sta Klim Tangerang Selatan (Cisadane)	1990–2020	-1,05	Tidak sig.	-0,550	Menurun	Variasi lokal Tengah DAS
Sta Soekarno Hatta (Cisadane)	1990–2020	1,00	Tidak sig.	0,420	Meningkat	Variasi lokal hilir
Sta Budiarto (Cisadane)	1990–2020	0,80	Tidak sig.	0,390	Meningkat	Variasi lokal
Citeko (Ciliwung)	1992–2022	0,95	Tidak sig.	0,320	Meningkat	Hujan orografis hulu
Klimatologi Jabar (Ciliwung)	1992–2022	1,15	Tidak sig.	0,285	Meningkat	Hujan orografis hulu
Tj Priok (Ciliwung)	1992–2022	1,30	Tidak sig.	0,410	Meningkat	Pengaruh laut/pesisir

Analisis menunjukkan kecenderungan hasil analisis trend meningkat secara tidak signifikan pada seluruh DAS kecuali pada Stasiun Klimatologi Tangerang Selatan yang menunjukkan hasil trend menurun tidak signifikan yang dimungkinkan dipengaruhi variasi lokal tengah DAS. Jika taraf nyata diubah dari 99 % menjadi 95 % pada analisis Sen's Slope estimate Sta Klimatologi Tangerang Selatan memberikan kecenderungan meningkat, sebagaimana dapat dilihat dalam Gambar 1. Perbandingan Sen's Slope Estimate Sta. Klimatologi Tangerang Selatan Menggunakan Confidence 99 % (a) dan 95 % (b) .



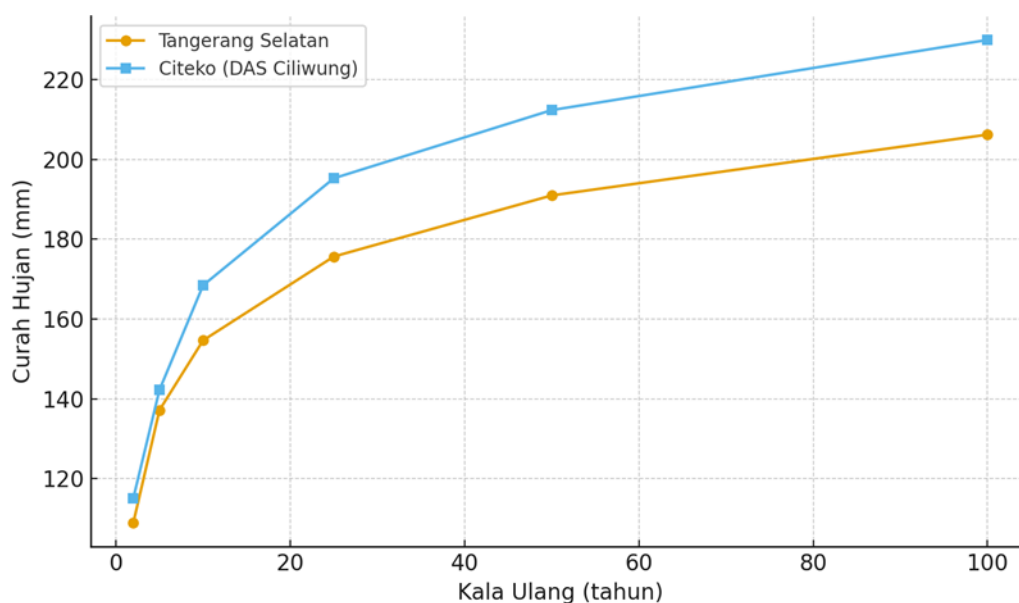
Gambar 1. Perbandingan Sen's Slope Estimate Sta. Klimatologi Tangerang Selatan Menggunakan Confidence 99 % (a) dan 95 % (b) .

Perbandingan trend curah hujan harian maksimum berdasarkan data historis selama 30 tahun dapat secara grafis dapat dilihat dalam Gambar 2. Trend Curah Hujan Harian Maksimum di DAS Ciliwung (a) dan Cisadane (b)



Gambar 2. Trend Curah Hujan Harian Maksimum di DAS Ciliwung (a) dan Cisadane (b)

Kurva IDF untuk dua stasiun referensi ekstrim yakni Sta. Klim Tangerang Selatan dan Sta Klim Citeko dapat dilihat dalam Gambar 3.



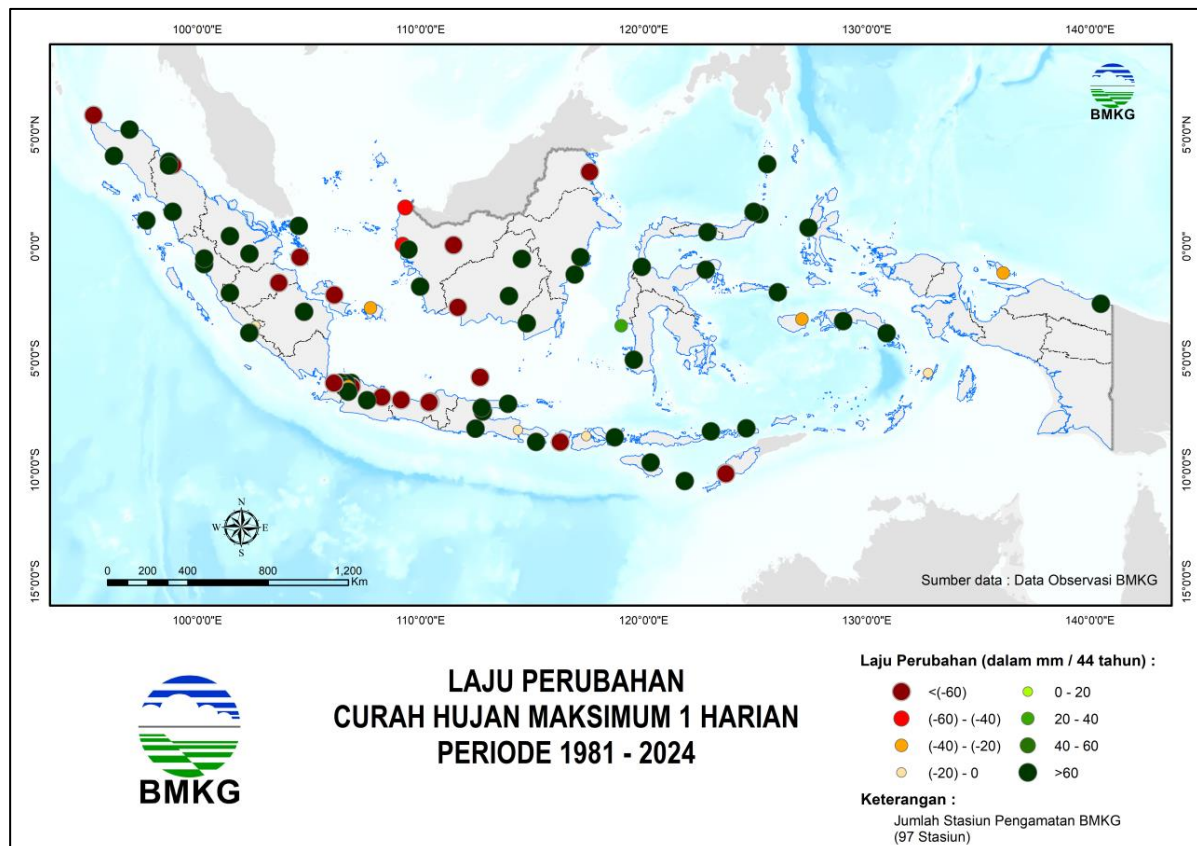
Gambar 3. Kurva IDF Sta Klimatologi Tangerang Selatan VS Sta Citeko

Jika menggunakan hasil analisis trend menggunakan Mann Kendall Test dan Sen's Slope Estimate, maka dapat diproyeksikan perubahan curah hujan rancangan pada periode ulang tertentu. Sebagai contoh pada Tabel 3. Dapat dilihat Perbandingan Curah Hujan Rancangan Periode ulang 50 tahun dan 100 tahun untuk DAS Ciliwung dan Cisadane Menggunakan Data Stasiun referensi pada tahun 2050 dan 2100 berdasarkan data sampai dengan tahun 2020.

Tabel 3. Perbandingan Hujan Rancangan Periode Ulang 50 dan 100 Tahun pada Tahun 2050 dan 2100 berdasarkan data tahun eksisting s.d 2020

DAS / Kala Ulang (th)	2020 (mm)	2050 (mm)	2100 (mm)	Perubahan (%) 2100 vs 2020
Cisadane Hilir - 50	191,0	203,5	226,0	+18,3%
Cisadane Hilir - 100	206,3	221,0	246,5	+19,5%
Ciliwung Citeko - 50	212,4	226,0	252,0	+18,6%
Ciliwung Citeko - 100	230,0	245,0	272,5	+18,5%

DAS Cisadane Hilir menunjukkan tren curah hujan bervariasi dengan dominasi faktor lokal hilir. Sebaliknya, DAS Ciliwung memiliki tren meningkat konsisten akibat hujan orografis di hulu pegunungan serta pengaruh pesisir di hilir. Perbandingan IDF eksisting (2020) dengan proyeksi 2050 dan 2100 menunjukkan peningkatan intensitas hujan hingga ~20%. Hal ini menegaskan bahwa desain infrastruktur hidrologi yang hanya berbasis data historis berpotensi underdesigned pada masa mendatang



Sumber : BMKG , 2025

Jika dibandingkan dengan peta hasil analisis laju perubahan curah hujan maksimum 1 harian dari BMKG berdasarkan data periode 1981-2024, variasi laju perubahan yang diperoleh secara umum selaras, variasi lokal diperkirakan dipengaruhi oleh kerapatan stasiun yang digunakan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis Mann Kendall Test, Sen's Slope Estimate, analisis Kurva Durasi (IDF) serta proyeksi hujan rancangan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kedua wilayah menunjukkan adanya tren perubahan curah hujan ekstrem meskipun signifikansi rendah.
2. DAS Cisadane cenderung bervariasi (positif/negatif), sedangkan DAS Ciliwung cenderung meningkat.
3. Hujan rancangan kala ulang 100 tahun di Tangerang Selatan – DAS Cisadane (206,25 mm/hari) lebih rendah dibanding Citeko (230 mm/hari), namun risiko banjir perkotaan lebih tinggi di Tangerang Selatan.
4. Implikasi pada rekayasa sipil meliputi kebutuhan revisi standar drainase dan pengendali banjir berbasis data iklim terbaru.
5. Rekomendasi: pemodelan hidrologi spasial, integrasi data multistasiun, serta penerapan climate-resilient infrastructure planning.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya, F., Gusmayanti, E., & Sudrajat, J. (2021). Rainfall trend analysis using Mann-Kendall and Sen's slope estimator test in West Kalimantan. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 893(1).

- Anastasya, A. Prakoso, WG, Purwanti, H (2021). Analisis Dampak Perubahan Iklim terhadap Curah Hujan Harian Maksimum di Kota Tangerang Selatan. Tugas Akhir, Universitas Pakuan.
- Ananda, R, Prakoso, WG, Purwanti, H. (2023). Analisis Dampak Perubahan Iklim terhadap Curah Hujan Harian Maksimum di DAS Ciliwung. Tugas Akhir, Universitas Pakuan.
- Astiti, S. P. C., & Habaita, G. T. (2013). Analisis Kurva IDF (Intensity-Duration-Frequency) DAS Gajahwong Yogyakarta. Seminar Nasional, 8, 69–74.
- BPBD Tangerang Selatan. (2020). Laporan Tahunan Bencana Hidrometeorologi Kota Tangerang Selatan.
- Boer, R. (2003). Kajian Iklim di Indonesia dan Implikasinya. Bogor: IPB Press.
- Febrianti, T., Yani, R., & Badruzzaman, F. H. (2022). Analisis curah hujan dalam menentukan debit banjir rencana pada daerah aliran sungai Cisadane menggunakan metode rasional. Jurnal Sigma Teknik, 2(1), 39–48.
- Harisuseno, D., & Bisri, M. (2017). Kajian model debit puncak berdasarkan kurva IDF pada DAS urban. Jurnal Teknik Pengairan, 13(1), 21–28.
- Yulius, E. (2014). Analisa curah hujan dalam membuat kurva Intensity Duration Frequency (IDF) pada DAS Bekasi. Jurnal Teknik Sipil, 4(2), 134–141.
- Zamroni, F. (2017). Analisa Pengendalian Banjir Kali Ciliwung. Tesis, Universitas Brawijaya.