



# STUDI KASUS PEMBUATAN LENGKUNG IDF DAN PERKIRAAN HUJAN RENCANA DI KOTA BEKASI DAN CIKARANG BERDASARKAN DATA NON-STASIONER

SEGEL GINTING<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Teknik Irigasi, Direktorat Irigasi dan Rawa, Kementerian PUPR, Indonesia

\*Corresponding author: ✉ [gintingsegel@pu.go.id](mailto:gintingsegel@pu.go.id)

Naskah diterima : 3 April 2021. Disetujui: 26 Juni 2022

## ABSTRAK

Perubahan wilayah dari perdesaan menjadi perkotaan menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Iklim yang berubah tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan hujan ekstrim. Perubahan catatan data hujan ekstrim, menyebabkan analisis frekuensi data tersebut menjadi tidak valid karena kondisi data tidak stasioner. Oleh karena hal tersebut, maka dilakukan adaptasi pembuatan lengkung IDF dan hujan rencana menggunakan data non stasioner. Contoh kasus yang digunakan adalah di Kota Bekasi dan Cikarang, dimana kedua kota tersebut telah berubah menjadi wilayah perkotaan, sehingga karakteristik iklimnya mengalami perubahan. Metode pembuatan lengkung IDF dengan persamaan Bell dan penentuan hujan rencana dengan menggunakan distribusi *generalized extreme value* (GEV) berdasarkan empat skenario. Skenario pertama (GEV-0) menggunakan asumsi parameter lokasi (*mean*) dan skala (standar deviasi) tetap (stasioner), skenario kedua (GEV-1) menggunakan parameter lokasi tidak tetap (non-stasioner) sementara parameter skala tetap, skenario ketiga (GEV-2) menggunakan parameter lokasi dan parameter skala tidak tetap, sedangkan skenario keempat (GEV-3) sama dengan skenario GEV-2 namun prediksi parameter lokasi dan skalanya berdasarkan data hujan tahunan. Lengkung IDF dan hujan rencana berdasarkan parameter non stasioner memberikan hasil peningkatan intensitas hujan dan hujan rencana. Kondisi demikian membuat perencanaan infrastruktur seperti drainase perkotaan harus adaptif untuk mengantisipasi terjadinya genangan yang lebih sering dimasa mendatang.

**Kata kunci** : Lengkung IDF, hujan rencana, *generalized extreme value* (GEV), non-stasioner

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan suhu udara di bumi telah terjadi secara signifikan pada beberapa dekade terakhir (Pachauri et al., 2014) yang mungkin tercermin oleh proses siklus air yang lebih intens dan meningkatnya frekuensi dan besarnya kejadian hujan ekstrim (Wobus et al., 2014). Suhu yang meningkat mempengaruhi kemampuan penampungan uap air di atmosfer sekitar 7% setiap kenaikan 1°C, sehingga secara langsung mempengaruhi curah hujan (Trenberth, 2011). Pemanasan global meningkatkan risiko iklim ekstrem (Emori & Brown, 2005) termasuk banjir dan kerusakan infrastruktur seperti bendungan, jalan dan selokan dan sistem drainase air

DOI : <https://doi.org/10.25077/jrs.18.2.117-132.2022>

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

hujan (Zhou, 2014). Hujan ekstrem merupakan salah satu fenomena alam yang menyebabkan dampak negatif untuk infrastruktur sumber daya air. Saat ini frekuensi dan intensitas curah hujan ekstrim diduga mengalami peningkatan akibat dari perubahan iklim. Menurut Hartmann (Hartmann et al., 2013) bahwa perubahan curah hujan di wilayah Asia terjadi mulai dari tingkat yang rendah sampai dengan medium, berbeda halnya di wilayah Amerika Utara dan Eropa memiliki perubahan yang sangat tinggi, sehingga dibutuhkan adaptasi untukantisipasi fenomena ini.

Analisis frekuensi banjir di daerah aliran sungai perkotaan sulit dilakukan karena kondisi data debit puncak banjir yang non-stasioner. Kondisi data non-stasioner berhubungan dengan perubahan penggunaan lahan dan pembangunan infrastruktur di perkotaan. Salah satu pendekatan yang digunakan untuk analisis data non-stasioner dengan menggunakan metode *Generalized Additive Models for Location Scale and Shape, GAMLSS*, dan telah diaplikasikan di DAS Little Sugar Creek (Villarini et al., 2009). Beberapa kajian diberbagai daerah telah melakukan adaptasi dengan menggunakan data non stasioner untuk menghadapi perubahan iklim dan ketidakpastian dimasa mendatang. Seperti yang dilakukan oleh Chen dan kawan kawan (Chen et al., 2017) dalam kajiannya melakukan perbandingan berbagai metodologi untuk melakukan analisis frekuensi terhadap data hujan maksimum pada kondisi data non stasioner dengan tujuan untuk mengevaluasi metode yang digunakan dengan metode tradisional. Oruc (Oruc, 2021) menggunakan 136 model stasioner dan 408 non-stasioner dan dibandingkan dengan hasil menunjukkan bahwa model non-stasioner mengungguli model stasioner untuk hampir semua data di 17 pos hujan. Nwaogazie dan Sam (Nwaogazie & Sam, 2020) mengevaluasi pembuatan lengkung IDF pada kondisi data stasioner dan non stasioner dengan hasilnya bahwa pada kondisi data yang mengalami perubahan maka model non stasioner memiliki kesesuaian yang baik dibandingkan dengan stasioner.

Sistem drainase perkotaan umumnya gagal dalam fungsinya terutama karena iklim non-stasioner dan proses pembangunan yang cepat, karena sistem ini menjadi kurang efisien, isu seperti selokan meluap dan peningkatan banjir perkotaan yang menyebabkan lonjakan beban polutan ke badan air menjadi sangat meluas (Yazdanfar & Sharma, 2015). Perencanaan infrastruktur khususnya sistem drainase dilakukam melalui analisis frekuensi secara konvensional dengan asumsi: (i) kemandirian data yang digunakan harus independen, yang berarti bahwa parameter distribusi probabilitas yang diperkirakan berasal dari pengamatan yang independen dan terdistribusi secara identik, dan (ii) data yang digunakan stasioner, yang berarti bahwa faktor lingkungan yang menghasilkan limpasan, seperti iklim dan tutupan lahan, adalah sama di masa lalu, sekarang dan masa depan (Khaliq et al., 2006; Gilroy & McCuen, 2012; Xiong et al., 2015) meskipun kestasioneran data tersebut menjadi perhatian dan dipertanyakan kebenarannya pada kondisi iklim berubah (Xiong et al., 2015). Kondisi iklim di perkotaan mengalami perubahan sehingga perencanaan infrastruktur seperti drainase umumnya terkendala dengan data. Menurut Marsalek dan Watt menyatakan bahwa data aliran pada kondisi sebelum dilakukan pembangunan tidak relevan digunakan untuk menggambarkan kondisi setelah pembangunan (Marsalek & Watt, 1984), karena datanya sudah mengalami perubahan dan analisis menggunakan metode tradisional (asumsi data stasioner) tidak tepat (Milly et al., 2008). Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah inovasi untuk melakukan analisis data yang mengalami perubahan atau non-stasioner agar hasilnya dapat mengantisipasi dimasa mendatang. Agar supaya data hujan di Kota Bekasi dan Cikarang dapat dimanfaatkan untuk perhitungan lengkung IDF dan hujan rencana sebagai dasar untuk perencanaan drianase, maka analisis pembuatan lengkung IDF dan hujan rencana berdasarkan data hujan non-stasioner dilakukan untuk mengantisipasi resiko yang terjadi dimasa mendatang.

## 2. METODA PENELITIAN

### 2.1. Data dan Bahan

Pembuatan lengkung IDF dan hujan rencana dalam makalah ini menggunakan contoh kasus di Kota Bekasi dan Cikarang. Kota ini dipilih karena Kota Bekasi dekat dengan Kota Jakarta sehingga perkembangan kota ini begitu sangat masif dan progresif. Termasuk Kota Cikarang, dimana telah mengalami perkembangan dari wilayah perdesaan menjadi perkotaan. Data yang digunakan adalah data Iklim di Pos Klimatologi Bekasi (Kantor Balai Irigasi) dan pos hujan di Bendung Cikarang.

### 2.2. Metode

Pembuatan lengkung IDF dibuat dengan metode Bell untuk kondisi data hujan non-stasioner yang menggambarkan terjadinya perubahan iklim. Sebelum analisis lengkung IDF dengan Metode Bell, terlebih dahulu melakukan analisis frekuensi terhadap data hujan harian maksimum sebagai variabel untuk pembuatannya. Analisis frekuensi terhadap data hujan harian maksimum yang dilakukan tergantung terhadap waktu (non-stasioner). Terdapat beberapa skenario pendekatan yang dikembangkan untuk melakukan analisis frekuensi hujan harian maksimum untuk kondisi non stasioner. Metode yang digunakan untuk kajian ini adalah sebagai berikut:

#### Analisis Frekuensi Hujan Maksimum

Analisis frekuensi hujan maksimum dalam rangka untuk menentukan hujan rencana. Analisis ini menggunakan pendekatan statistik dengan menggunakan distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV). Persamaan *Generalized Extreme Value* (GEV) yang digunakan untuk menghitung nilai rencana adalah sebagai berikut (Rao & Hamed, 2019):

$$f^{-1}(1-p) = \mu + \left(\frac{\sigma}{k}\right) \{[-\ln(1-p)]^{-k} - 1\} \text{ untuk } k \neq 0.$$

Variabel input untuk distribusi GEV dibagi menjadi empat skenario yaitu: (1) skenario pertama menggunakan data stasioner untuk parameter lokasi dan skala, (2) skenario kedua menggunakan data non stasioner untuk parameter lokasi, dimana parameter lokasi (rata-rata= $\mu$ ) mengalami perubahan terhadap waktu (t),  $\mu_t = \mu_o + \alpha t$ , (3) skenario ketiga menggunakan data non stasioner untuk parameter lokasi dan skala, dimana parameter lokasi (rata-rata= $\mu$ ) dan parameter skala (standar deviasi= $\sigma$ ) mengalami perubahan terhadap waktu (t),  $\mu_t = \mu_o + \alpha t$  dan  $\sigma_t = \sigma_o + \beta t$ , (4) skenario keempat menggunakan data non stasioner untuk parameter lokasi dan skala, dimana parameter lokasi (rata-rata= $\mu$ ) dan parameter skala (standar deviasi= $\sigma$ ) mengalami perubahan terhadap curah hujan tahunan (A),  $\mu_t = A_t + \gamma t$  dan  $\sigma_t = A_t + \varphi t$

Semua skenario ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Skenario yang digunakan dalam menduga lengkung IDF dan hujan rencana

No	Skenario	Parameter Lokasi (rata-rata)	Parameter Skala (standar deviasi)	Parameter Bentuk	Ket
1	GEV-0	Konstan ( $\mu_t$ )	Konstan ( $\sigma_t$ )	Konstan	Stasioner
2	GEV-1	$\mu_t = \mu_o + \alpha t$	Konstan ( $\sigma_t$ )	Konstan	Non-Stasioner
3	GEV-2	$\mu_t = \mu_o + \alpha t$	$\sigma_t = \sigma_o + \beta t$	Konstan	Non-Stasioner
4	GEV-3	$\mu_t = A_t + \gamma t$	$\sigma_t = A_t + \varphi t$	Konstan	Non-Stasioner

#### Lengkung IDF

Lengkung IDF merupakan salah satu input yang diperlukan dalam melakukan perencanaan infrastruktur drainase. Dalam kajian ini kurva tersebut diperoleh berdasarkan lengkung IDF

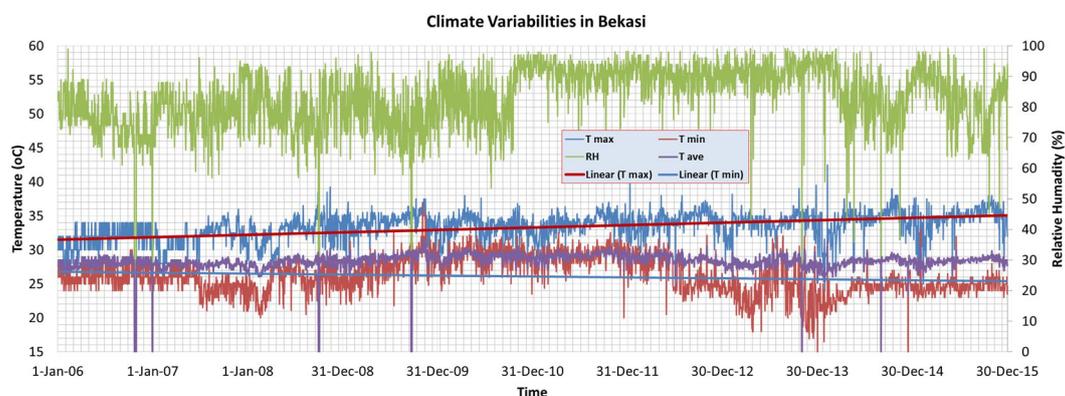
yang dihasilkan dari persamaan Bell (Bell, 1969). Metode Bell dikembangkan setelah melakukan analisis data hujan di US, Australia dan Afrika Selatan. Metodenya berdasarkan asumsi bahwa hujan ekstrim dengan durasi yang sangat singkat dan intens seringnya disebabkan oleh hujan konveksi. Hujan dengan karakteristik demikian dapat terjadi dimana saja di dunia. Bell mengemukakan 2 persamaan dasar yang dapat digunakan yaitu perubahan karena perbedaan durasi hujan dengan persamaan seperti berikut:  $R[t, T] = (0.54t^{0.25} - 0.50)R[60, T]$  dan perubahan karena perbedaan periode ulang dengan persamaan seperti berikut  $R[t, T] = (0.21 \ln(T) + 0.52)R[t, 10]$ . Kedua persamaan di atas dikombinasikan untuk mendapatkan persamaan yang dapat digunakan secara umum (Bell, 1969):

$$R[t, T] = (0.54t^{0.25} - 0.50)(0.21 \ln(T) + 0.52)R[60, 10]$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

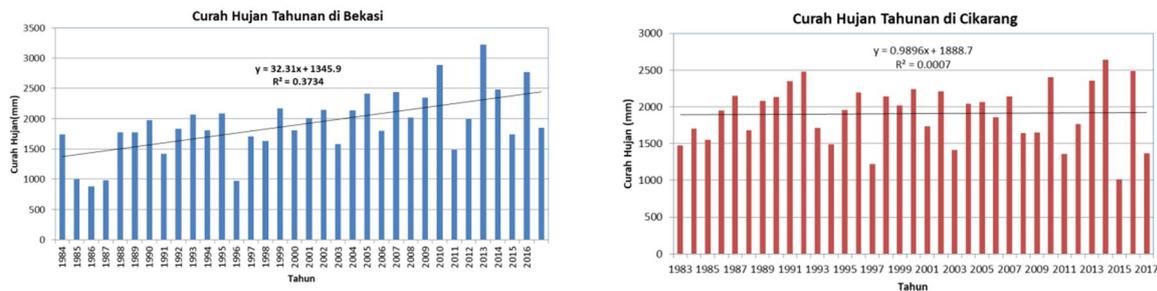
#### 3.1. Karakteristik Iklim

Kajian ini memerlukan data iklim pada daerah yang mengalami pertumbuhan yang sangat pesat yang awalnya merupakan daerah perdesaan dan menjadi daerah perkotaan. Contoh kasus untuk kajian ini adalah di Kota Bekasi dan Kota Cikarang. Data yang digunakan untuk menggambarkan kondisi iklim di Kota Bekasi adalah pos Klimatologi Bekasi yang dikelola oleh Balai Teknik Irigasi, Kementerian PUPR dan data hujan di Bendung Cikarang. Data iklim yang digunakan di Kota Bekasi mulai dari tahun 1984 sampai dengan 2018 sedangkan di Kota Cikarang menggunakan data mulai dari tahun 1983 sampai dengan 2017. Kondisi iklim di Kota Bekasi dapat dilihat pada **Gambar 1**. Kondisi perubahan temperatur dan kelembaban udara untuk beberapa unsur iklim seperti suhu udara dan kelembaban udara. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa suhu udara maksimum mengalami peningkatan dan suhu minimum mengalami penurunan.

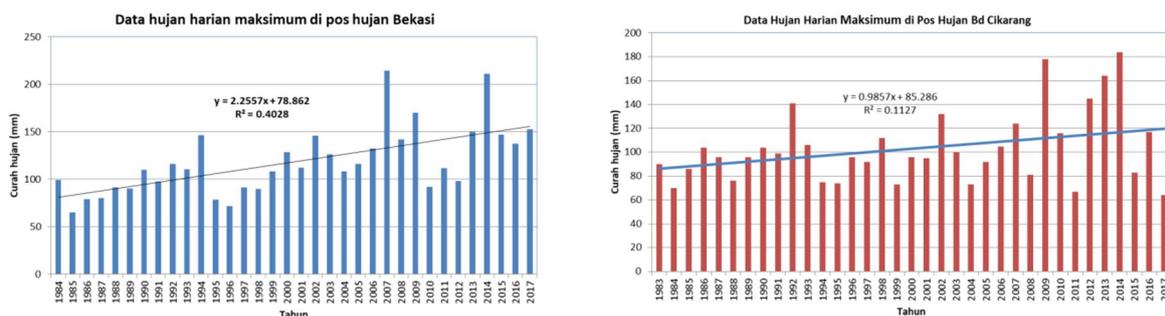


**Gambar 1.** Kondisi perubahan temperatur dan kelembaban udara

Selain unsur iklim di atas, unsur iklim lain seperti curah hujan dan turunannya mengalami peningkatan *trend* peningkatan. Curah hujan tahunan mengalami *trend* peningkatan untuk Kota Bekasi, sementara untuk Kota Cikarang *trend* peningkatan tidak signifikan, seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. Peningkatan yang terjadi untuk Kota Bekasi sekitar 32 mm dalam setahun atau sekitar 2,4 %. Variabel lain yang mengalami *trend* perubahan untuk Kota Bekasi dan Cikarang adalah hujan harian maksimum tahunan, seperti terlihat pada **Gambar 3**.

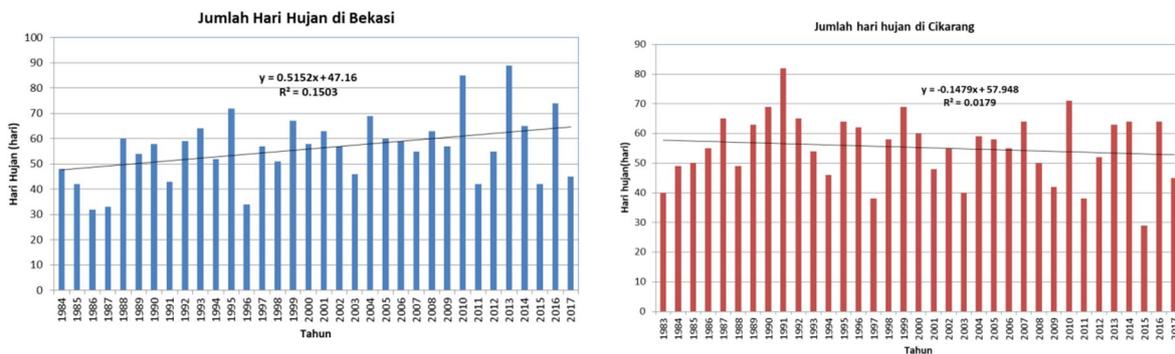


Gambar 2. Kondisi trend perubahan curah hujan tahunan



Gambar 3. Kondisi trend perubahan hujan harian maksimum

Trend peningkatan hujan harian maksimum tahunan seperti pada Gambar 3, memiliki nilai peningkatan sebesar 2,25 mm dalam setahun atau setara dengan peningkatan sekitar 2,8 % untuk Kota Bekasi, namun untuk Kota Cikarang terjadi peningkatan 1 mm per tahun. Peningkatan hujan harian maksimum tahunan dapat meningkatkan resiko bencana infrastruktur dikemudian hari sehingga perlu diantisipasi dan diadaptasi. Variabel turunan curah hujan lain yang mengalami perubahan adalah hari hujan. Trend peningkatan hari hujan terjadi di Kota Bekasi, namun untuk Kota Cikarang terjadi trend penurunan seperti terlihat pada Gambar 4. Trend peningkatan yang terjadi di Kota Bekasi tidak sebesar atau sekuat dari variabel hujan lain. Besarnya trend peningkatan hari hujan di Kota Bekasi adalah sekitar 0,5 hari atau sekitar 1 % sementara untuk Kota Cikarang terjadi trend penurunan jumlah hari hujan sebesar 0.5%.

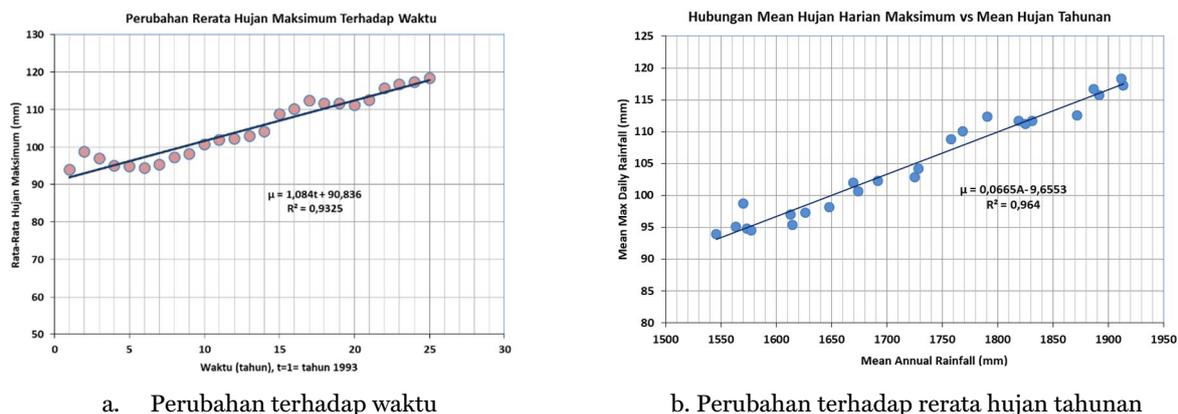


Gambar 4. Kondisi perubahan jumlah hari hujan

### 3.2. Analisis Statistik Variabel Hujan

Variabel hujan yang digunakan untuk memprakirakan hujan rencana dengan analisis frekuensi adalah nilai rerata hujan harian maksimum dan simpangan baku (*standard deviation*) dari sekumpulan data. Nilai rerata hujan maksimum pada awalnya dihitung untuk 10 tahun data dan selanjutnya jumlah data yang dirata-rata (*mean*) bertambah sesuai dengan bertambahnya jumlah data. Nilai rerata hujan maksimum yang dihasilkan mengalami perubahan seiring dengan penambahan jumlah data atau seiring dengan perubahan waktu kedepan, seperti terlihat pada Gambar 5a. Variabel nilai rerata hujan harian maksimum tidak hanya berubah signifikan terhadap waktu, namun juga oleh nilai rerata hujan tahunan, seperti pada Gambar 5b.

Variabel nilai rerata hujan maksimum berdasarkan perubahan waktu yang dihasilkan di Kota Bekasi adalah sekitar 1 mm yang dimulai dari tahun 1993. Dengan perubahan nilai rerata hujan maksimum tersebut, maka secara otomatis akan menyebabkan perubahan nilai hujan rencana di masa mendatang. Persamaan garis linier yang dihasilkan antara rerata hujan harian maksimum dengan waktu yaitu  $\mu_t = 1,084t + 90,836$ , akan digunakan untuk memperkirakan variabel rerata hujan maksimum di masa mendatang dalam rangka untuk mendesain infrastruktur.

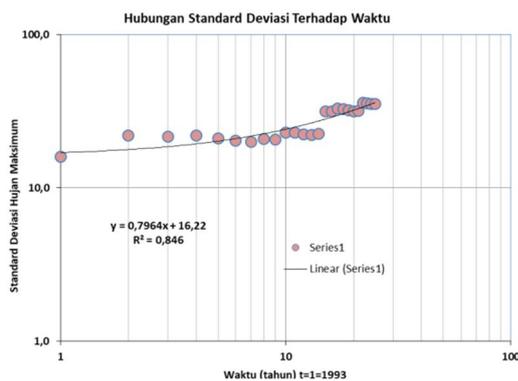


a. Perubahan terhadap waktu

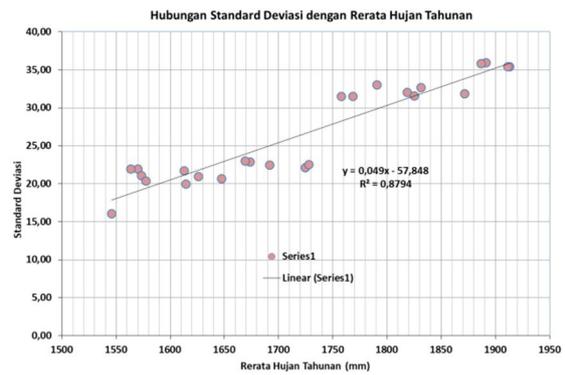
b. Perubahan terhadap rerata hujan tahunan

**Gambar 5.** Perubahan variabel rerata hujan harian maksimum di Kota Bekasi

Variabel hujan lainnya yang digunakan untuk melihat hasil penentuan lengkung IDF dan hujan rencana adalah simpangan baku data. Simpangan baku data memberikan gambaran bagaimana variasi data dan rentang kevalidan data yang diprediksi. Semakin besar simpangan baku menunjukkan variasi data yang dianalisis memiliki rentang data sangat besar dan kevalidan data hasil prediksi memiliki rentang yang cukup besar. Untuk data di Kota Bekasi, variabel simpangan baku hujan yang dihasilkan memiliki kecenderungan peningkatan terhadap waktu dan rerata hujan tahunan, seperti terlihat pada Gambar 6a dan Gambar 6b. Peningkatan simpangan baku untuk hujan harian maksimum tahunan menunjukkan bahwa hujan ekstrim yang terjadi semakin tidak menentu dan memiliki variasi yang cukup besar dimasa mendatang. Hal ini perlu diantisipasi dalam perencanaan infrastruktur agar resiko kegagalan dapat dikendalikan.



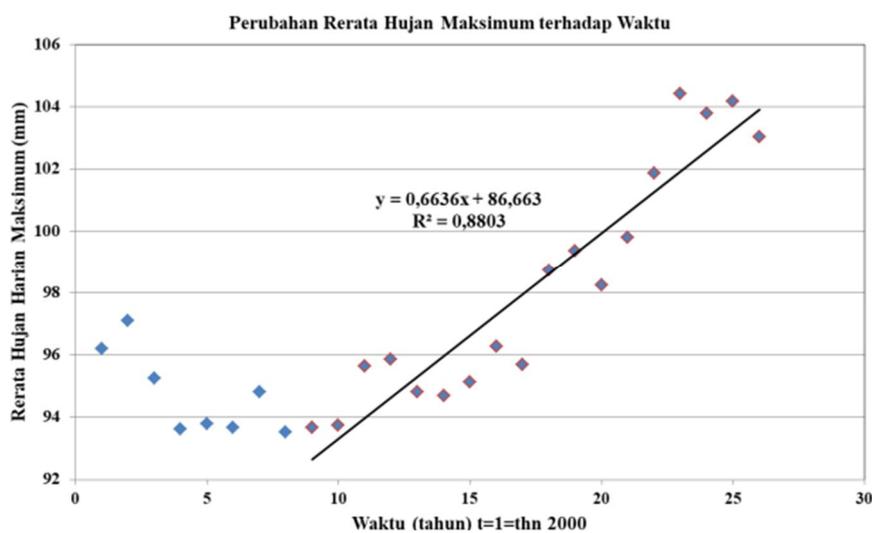
a. Terhadap waktu



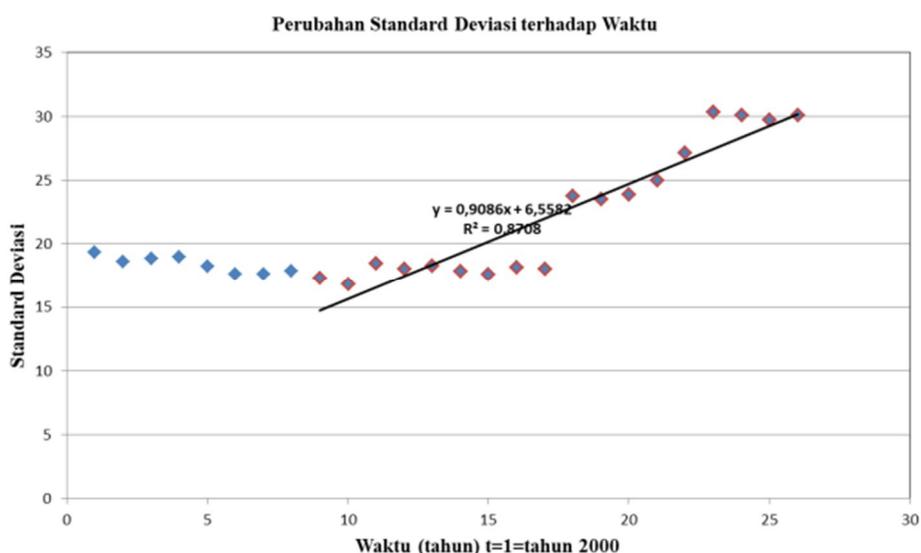
b. Terhadap rerata hujan tahunan

**Gambar 6.** Kondisi Perubahan standard deviasi di Pos Klimatologi Bekasi

Di Kota Cikarang, juga menunjukkan hal yang sama seperti di Kota Bekasi, dimana perubahan variabel rerata hujan harian maksimum terhadap waktu mulai terjadi sejak tahun 2000, seperti terlihat pada **Gambar 7**. Perubahan yang terjadi sejak tahun 2000an sejalan dengan sejarah perkembangan Kota Cikarang, dimana Kota Cikarang mulai ditetapkan menjadi Ibukota Kabupaten Bekasi sejak Juni 2004. Ditetapkannya Kota Cikarang menjadi Ibukota Kabupaten Bekasi, maka mulai berbenah membangun infrastruktur sebagai pusat kota pemerintahan yang diawali dengan membangun kompleks Pemda Kabupaten Bekasi di Kec. Cikarang Pusat. Perubahan variabel rerata hujan harian maksimum terhadap waktu di Kota Cikarang sangat signifikan dan persamaan linier yang dihasilkan digunakan untuk memprediksi hujan maksimum dimasa mendatang. Persamaan yang dihasilkan adalah  $\mu_t = 0,6636 t + 86,663$ , dimana terjadi peningkatan rerata hujan sekitar 0,66 mm setiap tahunnya yang dimulai dari tahun 2000. Selain variabel rerata hujan harian maksimum terdapat variabel yang lain yaitu variabel simpangan baku berubah terhadap waktu. Perubahan yang terjadi sangat signifikan dan persamaan linier yang dihasilkan digunakan untuk memprediksi simpangan baku dimasa mendatang seperti terlihat pada **Gambar 8**. Persamaan yang dihasilkan adalah  $\sigma_t = 0,9086 t + 6,5582$ , dimana terjadi peningkatan simpangan baku sekitar 0,91 setiap tahunnya yang dimulai dari tahun 2000.



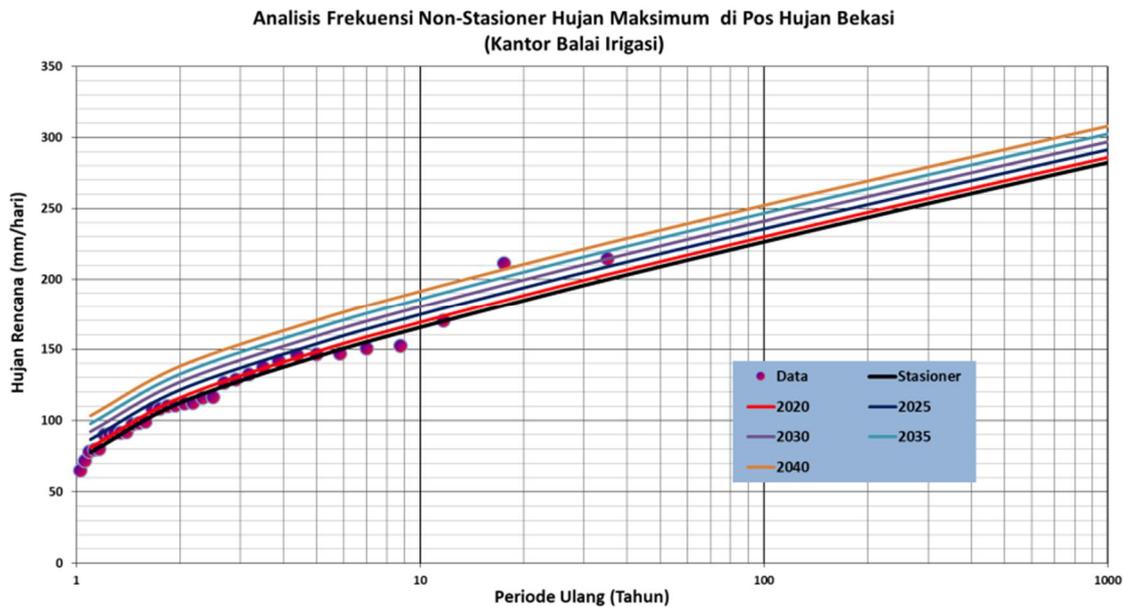
**Gambar 7.** Kondisi Perubahan Hujan Harian Maksimum di Pos Hujan Bd Cikarang



Gambar 8. Kondisi Perubahan Standard deviasi di Pos Hujan Bd Cikarang

### 3.3. Hujan Rencana Pada Kondisi Data Non Stasioner

Hujan rencana merupakan hujan yang diprediksi dimasa mendatang berdasarkan kondisi data yang telah diamati dan umumnya diprediksi berdasarkan analisis probabilitas dari data bersangkutan. Umumnya hujan rencana dihitung dengan menggunakan analisis frekuensi dengan asumsi karakteristik data tersebut harus konstan dimasa sekarang dan untuk yang akan datang. Sehingga dalam melakukan analisis frekuensi terlebih dahulu data tersebut harus melalui beberapa pengujian sebelum digunakan, salah satunya adalah pengujian *trend*. Analisis frekuensi seperti yang dilakukan di atas tidak dapat diterapkan untuk kondisi iklim yang telah mengalami perubahan seperti yang terjadi di Kota Bekasi dan Cikarang. Data yang ditunjukkan di atas tidak dapat dinyatakan memiliki karakteristik data yang konstan (stasioner) sehingga analisis yang dilakukan untuk menentukan hujan rencana di Kota Bekasi dan Cikarang dengan mempertimbangkan kondisi data non stasioner. Dengan demikian, maka nilai hujan rencana yang dihasilkan tergantung terhadap waktu kapan analisis data dilakukan. Berdasarkan skenario pendekatan yang telah dinyatakan dalam metodologi penelitian, bahwa terdapat empat skenario (Tabel 1) yang digunakan untuk memprediksi hujan rencana di kedua lokasi. Dari empat skenario yang digunakan hanya dapat diaplikasikan untuk Kota Bekasi sementara di Kota Cikarang hanya dapat menggunakan tiga skenario. Hal ini terjadi karena di Cikarang, hubungan antara hujan tahunan terhadap variabel lainnya tidak memiliki korelasi yang sangat kuat sehingga tidak dapat dibentuk formula secara khusus, sementara di Kota Bekasi memiliki korelasi yang sangat kuat dan dapat dibentuk persamaan yang baik. Hasil analisis hujan rencana untuk Kota Bekasi berdasarkan pada skenario GEV-0 dan GEV-1 dapat dilihat pada Gambar 9. Skenario GEV-0 merupakan hasil analisis dengan asumsi data stasioner, dimana kondisi ini yang secara umum digunakan dalam menentukan hujan rencana. Namun dengan melihat kondisi karakteristik data iklim yang ada, dimana sudah mengalami banyak perubahan akibat terjadinya perubahan lingkungan disekitar dan iklim yang berubah maka skenario non stasioner (GEV-1, GEV-2, dan GEV-3) menjadi keharusan untuk diterapkan dalam mengantisipasi resiko dimasa yang akan datang.

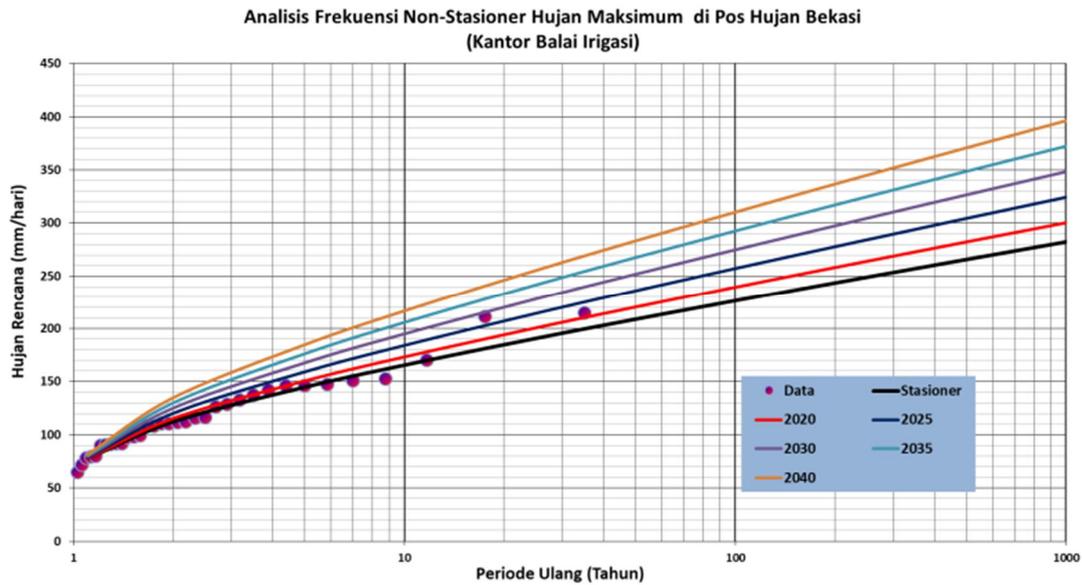


**Gambar 9.** Hujan rencana untuk kondisi skenario GEV-0 (stasioner) dan GEV-1

Seperti yang terlihat pada **Gambar 9**, skenario GEV-0 menghasilkan hujan rencana yang lebih rendah bila dibandingkan dengan skenario GEV-1. Hasil skenario GEV-0 akan digunakan sepanjang waktu, sementara untuk skenario GEV-1 tergantung waktu kapan hasil analisis tersebut digunakan. Seperti terlihat pada hasil skenario GEV-1 (**Gambar 9**), hasil hujan rencana yang diperoleh tergantung terhadap waktu kapan akan digunakan. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa semakin panjang umur layanan infrastruktur, maka semakin besar hujan rencana yang harus digunakan. Peningkatan hujan rencana yang harus digunakan dibandingkan dengan hasil dari skenario GEV-0 adalah konstan sejajar dengan peningkatan periode ulang. Namun perbedaan nilai antara analisis stasioner dengan analisis non stasioner pada periode tahun tertentu, semakin meningkat dengan semakin panjang periode waktu kedepan yang digunakan untuk analisis.

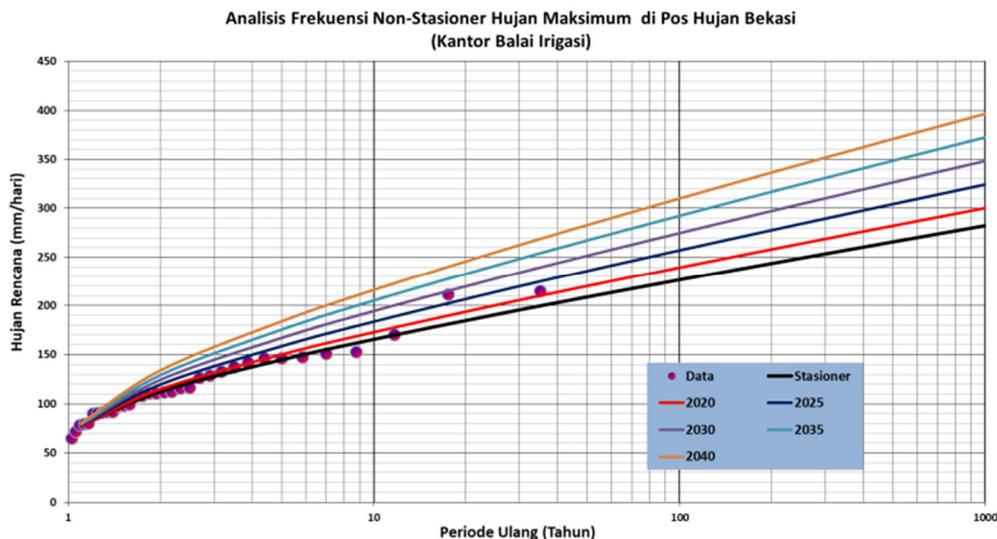
Skenario non stasioner GEV-2 memiliki 2 parameter yang tidak konstan yaitu parameter lokasi dan parameter skala. Skenario GEV-2 lebih dapat diterima dibandingkan dengan GEV-1, karena adanya parameter skala yang tidak konstan seperti pada GEV-1. Hasil prediksi curah hujan rencana dengan skenario GEV-2 dapat dilihat pada **Gambar 10**.

Dari **Gambar 10** terlihat bahwa nilai prediksi hujan rencana yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan GEV-0 (stasioner). Perbedaan kenaikan hujan rencana yang dihasilkan tidak konstan seperti pada skenario GEV-1, namun mengalami peningkatan seiring dengan perubahan periode ulang. Perbedaan nilai antara analisis stasioner dengan analisis non stasioner pada periode tahun tertentu semakin meningkat dengan semakin panjang periode waktu kedepan yang digunakan untuk analisis.



**Gambar 10.** Hujan rencana untuk kondisi skenario GEV-0 dan GEV-2

Selain dari skenario GEV-2, dikembangkan juga skenario GEV-3 dengan 2 parameter yang tidak konstan, hal ini sama dengan skenario GEV-2. Namun parameter lokasi dan parameter skala diprediksi berdasarkan hujan tahunan, sementara di skenario GEV-2, parameter lokasi dan parameter skala diprediksi berdasarkan *trend* perubahan terhadap waktu kedepan. Parameter lokasi dan skala yang digunakan dalam skenario GEV-3, didasarkan pada hujan tahunan. Hal ini dilakukan karena hujan tahunan mengalami perubahan rerata hujan tahunan terhadap waktu dimasa mendatang dan memiliki korelasi yang sangat signifikan dalam memprediksi parameter lokasi (rata-rata) dan parameter skala (standar deviasi) berdasarkan rerata hujan tahunan. Berdasarkan hubungan tersebut, selanjutnya diprediksi rerata hujan maksimum (parameter lokasi) dan rerata standar deviasi (parameter skala) untuk digunakan dalam skenario GEV-3. Hasil dari skenario GEV-3 dapat dilihat pada **Gambar 11**.

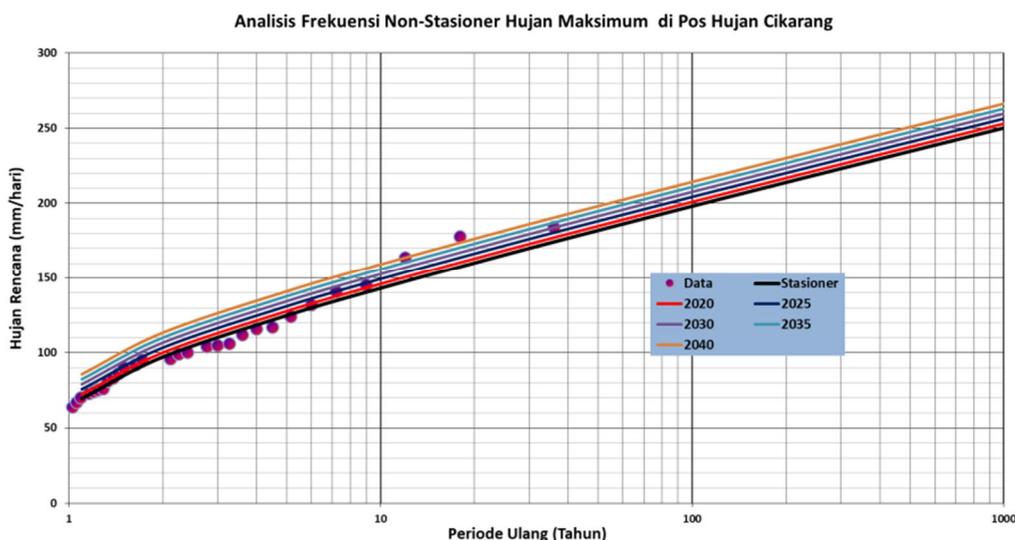


**Gambar 11.** Hujan rencana untuk kondisi skenario GEV-0 dan GEV-3

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa, hasil skenario GEV-3 mirip dengan hasil dari skenario GEV-2 karena kedua skenario tersebut menggunakan 2 parameter yang tidak konstan. Hasilnya terlihat berbeda jika dibandingkan dengan keuaran dari skenario GEV-1, karena menggunakan 1 parameter yang tidak konstan. Perbedaan nilai yang dihasilkan dengan skenario GEV-3 dan GEV-2 juga tidak terlalu signifikan karena prediksi parameter lokasi dan skala yang diduga berdasarkan rerata hujan tahunan (GEV-3) dan berdasarkan *trend* perubahan waktu kedepan (GEV-2) juga tidak signifikan.

Berdasarkan pada hasil skenario GEV-2 dan skenario GEV-3 di Kota Bekasi dapat dinyatakan bahwa, apabila dalam melakukan desain hujan menggunakan pendekatan asumsi data stasioner untuk periode ulang 50 tahun, maka nilai hujan rencana tersebut hanya dapat mencapai periode ulang 33 tahun di tahun 2020, periode ulang 21 tahun di tahun 2025, periode ulang 12 tahun di tahun 2030, periode ulang 10 tahun di tahun 2035, dan periode ulang 8 tahun di tahun 2040 dalam kondisi iklim berubah atau berdasarkan analisis non stasioner. Dengan demikian resiko infrastruktur seperti drainase di daerah perkotaan perlu diantisipasi untuk menghadapi hal tersebut.

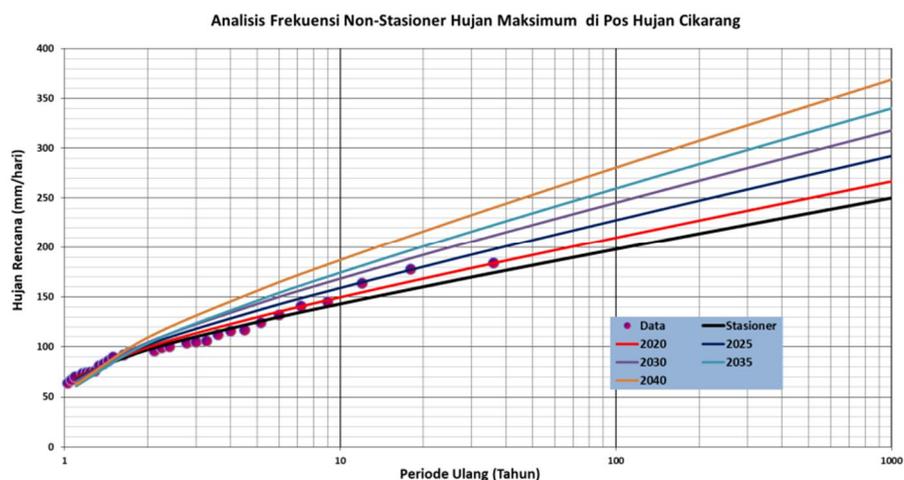
Kejadian yang serupa juga terjadi di Kota Cikarang, dimana variabel hujan yang digunakan untuk memprediksi hujan rencana juga mengalami perubahan. Dari data variabel tersebut, dianalisis untuk melihat kemungkinan penggunaan skenario yang dikembangkan. Berdasarkan kondisi data yang ada di Kota Cikarang, bahwa data hujan tahunan tidak mengalami perubahan sehingga skenario GEV-3 tidak dapat diakomodir di Kota Cikarang. Skenario yang dapat dikembangkan hanya GEV-0, GEV-1 dan GEV-2. Skenario GEV-0 (stasioner) merupakan yang umum digunakan dan sesuai *standard* yang digunakan di seluruh dunia termasuk di Indonesia. Skenario GEV-1 merupakan skenario dengan menerapkan konsep non stasioner dengan parameter lokasi mengalami perubahan terhadap waktu. Hasil dari skenario GEV-1 di Kota Cikarang dapat dilihat pada **Gambar 12**. Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa hasil dari skenario GEV-0 berada dibawah dari skenario GEV-1. Perbedaan yang dihasilkan skenario GEV-0 dan GEV-1 di Kota Cikarang lebih kecil bila dibandingkan dengan Kota Bekasi, karena *trend* perubahan yang terjadi di Kota Bekasi lebih besar dibandingkan dengan Kota Cikarang.



**Gambar 12.** Hujan rencana untuk kondisi model GEV-0 dan GEV-1.

Hasil skenario GEV-1 di Kota Cikarang memiliki perbedaan dengan skenario GEV-0 yang bervariasi menurut periode ulang dan waktu kapan dilakukan analisis. Semakin besar periode ulang yang digunakan, maka semakin kecil persentase perbedaan antara hasil analisis stasioner

dengan non stasioner, namun semakin kecil periode ulang yang digunakan, maka semakin besar persentase perbedaan antara hasil analisis stasioner dengan non stasioner. Hal yang sama juga terjadi pada waktu kapan digunakan untuk analisis. Nilai persentase perbedaan tersebut mulai dari 4 % sampai dengan 1,2 % untuk periode ulang mulai dari 1,1 sampai dengan 1000 tahun, jika dilakukan analisis pada tahun 2020. Jika dilakukan analisis pada tahun 2030, maka persentase perbedaan mulai dari 13,7 % sampai dengan 3,8 % untuk periode ulang 1,1 sampai dengan 1000 tahun. Apabila tahun analisis ditingkatkan menjadi tahun 2040, maka persentase perbedaannya semakin besar yaitu sekitar 23,2 % sampai dengan 6,5 % untuk periode ulang yang sama. Persentase perbedaan tersebut masih lebih rendah bila menggunakan hasil dari skenario GEV-2, karena perbedaan nilainya konstan untuk semua periode ulang. Sementara skenario GEV-2 perbedaan nilainya semakin besar dengan semakin besar periode ulang. Hasil prediksi hujan rencana di Kota Cikarang dengan menggunakan skenario GEV-2 dapat dilihat pada **Gambar 13**. Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat bahwa, perbedaan hasil antara GEV-0 dan non stasioner semakin besar dengan semakin meningkatnya periode ulang dan perbedaan hasil antara waktu kapan dilakukan analisis juga mengalami deviasi yang semakin lebar dengan semakin panjang periode waktu analisis kedepan. Nilai persentase perbedaan tersebut mulai dari 2,4 % sampai dengan 6,7 % untuk periode ulang mulai dari 1,1 sampai dengan 1000 tahun, jika dilakukan analisis pada tahun 2020. Jika dilakukan analisis pada tahun 2030, maka persentase perbedaan mulai dari 7,4 % sampai dengan 27 % untuk periode ulang 1,1 sampai dengan 1000 tahun. Apabila tahun analisis ditingkatkan menjadi tahun 2040, maka persentase perbedaannya semakin besar yaitu sekitar 12,4 % sampai dengan 47,5 % untuk periode ulang yang sama.



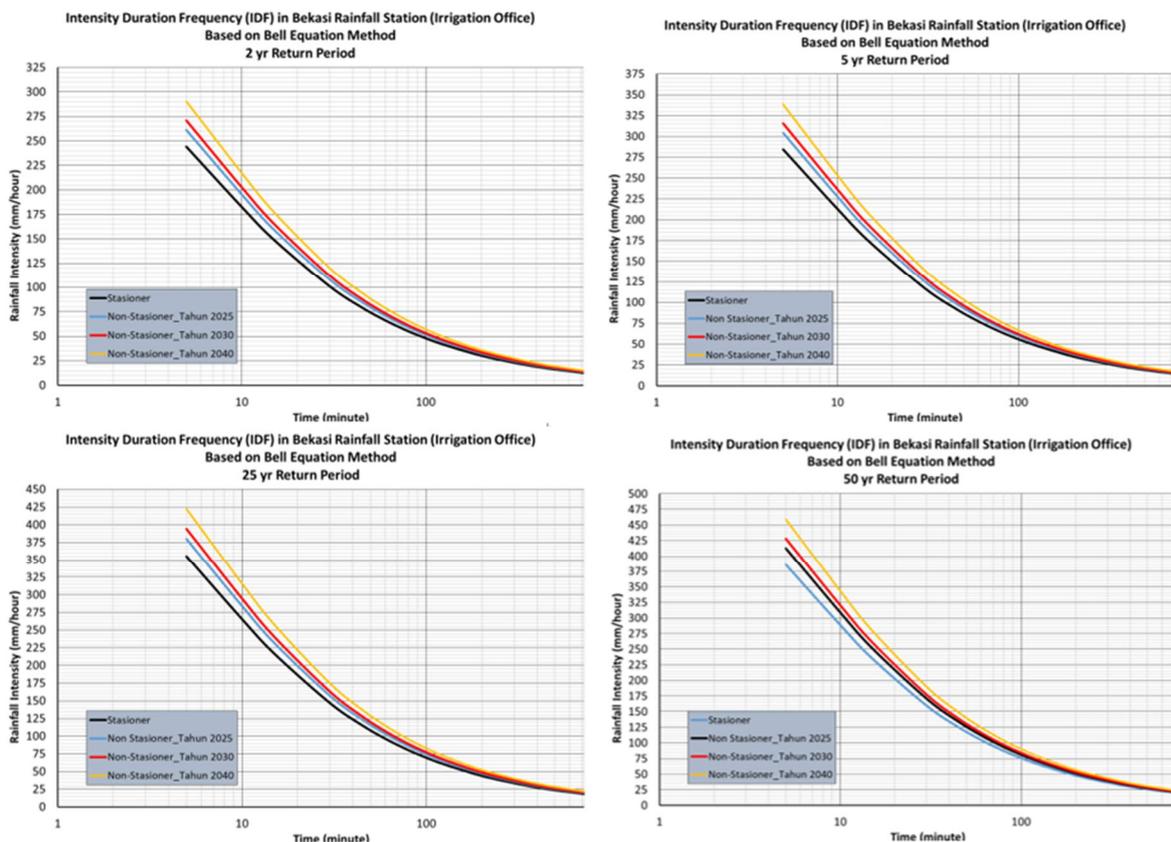
**Gambar 13.** Hujan rencana untuk kondisi skenario GEV-2.

Hasil prediksi curah hujan rencana di Kota Cikarang juga mengalami perbedaan antara non stasioner dengan stasioner. Perbedaan tersebut dapat terlihat jika dalam melakukan desain hujan menggunakan pendekatan asumsi data stasioner untuk periode ulang 50 tahun, maka nilai hujan rencana tersebut hanya dapat mencapai periode ulang 31 tahun di tahun 2020, periode ulang 20 tahun di tahun 2025, periode ulang 12 tahun di tahun 2030, periode ulang 11 tahun di tahun 2035, dan periode ulang 8 tahun di tahun 2040 dalam kondisi iklim berubah atau berdasarkan analisis non stasioner. Perubahan nilai periode ulang yang dihasilkan jika menggunakan analisis non stasioner hampir sama dengan yang dihasilkan di Kota Bekasi.

### 3.4. Lengkung IDF

Lengkung IDF merupakan grafik yang menghubungkan antara tebal hujan ekstrim dan durasi kejadian hujan dengan berbagai frekuensi. Lengkung IDF menggambarkan nilai jumlah hujan sebagai fungsi durasi untuk periode ulang tertentu dan sangat penting untuk desain struktur hidrolis (Overeem et al., 2008). Lengkung IDF ini memiliki banyak kegunaan dalam hidrologi dan rekayasa air permukaan termasuk dalam melakukan desain infrastruktur drainase perkotaan. Penggunaan lengkung IDF secara umum adalah untuk merancang struktur bangunan air dalam mengarahkan limpasan permukaan (Asquith & Roussel, 2004). Namun, manfaat langsung pembuatan IDF ini adalah untuk perhitungan debit banjir rencana yang digunakan untuk mendesain infrastruktur khususnya drainase perkotaan dalam menentukan kapasitas saluran.

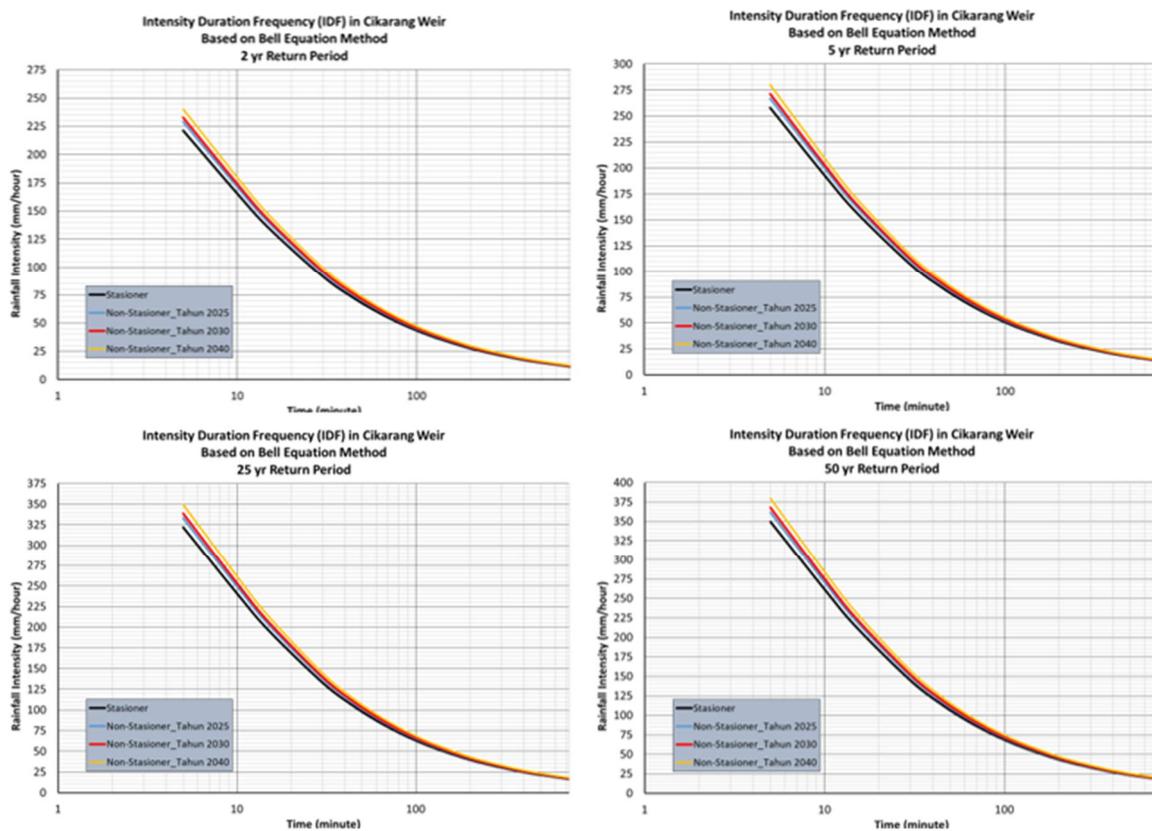
Pembuatan lengkung IDF di kedua kota dilakukan berdasarkan persamaan Bell. Data yang telah diolah sebelumnya seperti data harian hujan maksimum tahunan dan hari hujan merupakan variabel yang dibutuhkan sebagai input untuk persamaan Bell. Data hujan harian maksimum tahunan dan hari hujan tersebut tidak konstan dimasa mendatang, namun berubah mengikuti zaman (waktu) yang telah dihasilkan dan dijelaskan dalam bab karakteristik iklim dan perubahan variabel hujan.



**Gambar 14.** Lengkung IDF di Kota Bekasi

Pembuatan lengkung IDF di Kota Bekasi dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu dengan asumsi non stasioner dan stasioner. Pendekatan dengan stasioner merupakan pendekatan yang secara umum digunakan saat ini dengan asumsi kondisi iklim tidak berubah. Namun pada kenyataannya saat ini, di Kota Bekasi kondisi iklim yang telah mengalami perubahan, maka

konsep pendekatan stasioner kurang tepat digunakan dalam perencanaan infrastruktur khususnya saluran drainase perkotaan. Hasil pembuatan lengkung IDF di Kota Bekasi untuk periode ulang 2 sampai dengan 50 tahun berdasarkan asumsi data stasioner dan non stasioner dapat dilihat pada **Gambar 14**. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh di Kota Bekasi menunjukkan bahwa terjadi peningkatan intensitas hujan yang dihasilkan jika menggunakan analisis data non-stasioner. Perbedaan tersebut semakin membesar jika rentang waktu dilakukan analisis diperpanjang. Perbedaan hasil tersebut sekitar 7% mengalami kenaikan dengan hasil stasioner jika waktu analisis tersebut pada tahun 2025, dan mengalami kenaikan lagi menjadi 11% pada waktu tahun 2030 dan kenaikan sekitar 19% pada tahun 2040. Selain perbedaan berdasarkan waktu analisis, perbedaan kenaikan nilai intensitas hujan berdasarkan waktu konsentrasi juga terjadi, dimana waktu konsentrasi yang semakin membesar akan memberikan kenaikan nilai intensitas hujan yang semakin kecil. Hasil tersebut diatas, tidak hanya terjadi di Kota Bekasi, namun terjadi juga di Kota Cikarang. Pembuatan lengkung IDF di Kota Cikarang dilakukan dengan konsep yang sama. Hasil pembuatan lengkung IDF di Kota Cikarang terlihat pada **Gambar 15**.



**Gambar 15.** Lengkung IDF di Kota Cikarang

Dari Gambar 15 terlihat lengkung IDF di Kota Cikarang menunjukkan terjadi peningkatan intensitas hujan yang dihasilkan apabila menggunakan data non-stasioner. Perbedaan tersebut semakin membesar jika rentang waktu dilakukan analisis diperpanjang. Perbedaan hasil tersebut sekitar 3,5 % mengalami kenaikan dengan hasil stasioner jika waktu analisis tersebut pada tahun 2025, dan mengalami kenaikan lagi menjadi 5,2 % pada waktu tahun 2030 dan kenaikan sekitar 8,6 % pada tahun 2040. Persentase kenaikan intensitas hujan yang dihasilkan di Kota Cikarang lebih rendah bila dibandingkan dengan Kota Bekasi. Selain perbedaan berdasarkan waktu analisis, perbedaan kenaikan nilai intensitas hujan berdasarkan waktu

kosenterasi juga terjadi, dimana waktu konsentrasi yang semakin membesar akan memberikan kenaikan nilai intensitas hujan yang semakin kecil.

Perubahan lengkung IDF di kedua kota tersebut tentunya berdampak pada ketentuan kriteria desain infrastruktur, khususnya untuk merencanakan drainase. Dampak yang timbul paling signifikan adalah pada daerah tangkapan (*catchment area*) yang kecil. *Catchment area* yang kecil memiliki waktu kosenterasi yang singkat. Jika dihubungkan dengan lengkung IDF, maka untuk waktu kosenterasi yang singkat (pendek) memiliki peningkatan intensitas hujan yang sangat besar bila dibandingkan dengan waktu kosenterasi yang panjang. Daerah tangkapan hujan yang kecil (*catchment area*) umumnya berada pada lingkungan pemukiman dalam skala yang detail dan kompleks perumahan di perkotaan. Sebagai antisipasi dan adaptasi terhadap perubahan data yang terjadi di Kota Bekasi dan Cikarang, maka diharapkan para pengembang dan pemerintah kota dan kabupaten dapat melakukan perubahan kriteria perencanaan infrastruktur di perkotaan dengan menerapkan lengkung IDF berdasarkan skenario GEV-2 dan GEV-3 untuk Kota Bekasi dan skenario GEV-2 di Kota Cikarang.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian tersebut di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Lengkung IDF dan hujan rencana di Kota Bekasi dan Cikarang telah dihasilkan berdasarkan kondisi data non-stasioner untuk dapat digunakan dalam desain infrastruktur SDA.
2. Skenario GEV-2 dan GEV-3 dapat digunakan untuk Kota Bekasi sementara untuk Kota Cikarang hanya menggunakan skenario GEV-2.
3. Kenaikan intensitas hujan semakin besar terjadi pada durasi hujan yang semakin pendek atau dengan kata lain intensitas hujan untuk durasi tertentu semakin sering terjadi
4. Perubahan hujan rencana yang semakin besar dengan periode ulang yang semakin besar atau dengan kata lain, hujan ekstrim untuk nilai hujan tertentu semakin sering terjadi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Asquith, W. H., & Roussel, M. C. (2004). *Atlas of depth-duration frequency of precipitation annual maxima for Texas*. Texas Department of Transportation.
- Bell, F. C. (1969). Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of the Hydraulics Division*, 95(1), 311–328.
- Chen, P. C., Wang, Y. H., You, G. J. Y., & Wei, C. C. (2017). Comparison of methods for non-stationary hydrologic frequency analysis: Case study using annual maximum daily precipitation in Taiwan. *Journal of Hydrology*, 545, 197–211. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.001>
- Emori, S., & Brown, S. J. (2005). Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate. *Geophysical Research Letters*, 32(17), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2005GL023272>
- Gilroy, K. L., & McCuen, R. H. (2012). A nonstationary flood frequency analysis method to adjust for future climate change and urbanization. *Journal of Hydrology*, 414, 40–48.
- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y. A. R., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D. R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M., & Zhai, P. (2013). Observations: Atmosphere and surface. In *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 9781107057). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.008>
- Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J., Ondo, J. C., Gachon, P., & Bobée, B. (2006). Frequency analysis of a sequence of dependent and/or non-stationary hydro-meteorological observations: A review. *Journal of Hydrology*, 329(3–4), 534–552. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.03.004>

- Marsalek, J., & Watt, W. E. (1984). Design storms for urban drainage design. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 11(3), 574–584.
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Climate change: Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 319(5863), 573–574. <https://doi.org/10.1126/science.1151915>
- Nwaogazie, I. L., & Sam, M. G. (2020). A Review Study on Stationary and Non-Stationary IDF Models Used in Rainfall Data Analysis around the World from 1951-2020. *International Journal of Environment and Climate Change*, December, 465–482. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2020/v10i1230322>
- Oruc, S. (2021). Non-stationary investigation of extreme rainfall. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 7(9), 1620–1633. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091748>
- Overeem, A., Buishand, A., & Holleman, I. (2008). Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. *Journal of Hydrology*, 348(1–2), 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.044>
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., & Dasgupta, P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ipcc.
- Rao, A. R., & Hamed, K. H. (2019). *Flood frequency analysis*. CRC press.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1–2), 123–138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- Villarini, G., Smith, J. A., Serinaldi, F., Bales, J., Bates, P. D., & Krajewski, W. F. (2009). Flood frequency analysis for nonstationary annual peak records in an urban drainage basin. *Advances in Water Resources*, 32(8), 1255–1266.
- Wobus, C., Lawson, M., Jones, R., Smith, J., & Martinich, J. (2014). Estimating monetary damages from flooding in the United States under a changing climate. *Journal of Flood Risk Management*, 7(3), 217–229. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12043>
- Xiong, L., Du, T., Xu, C. Y., Guo, S., Jiang, C., & Gippel, C. J. (2015). Non-stationary annual maximum flood frequency analysis using the norming constants method to consider non-stationarity in the annual daily flow series. *Water Resources Management*, 29(10), 3615–3633. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1019-6>
- Yazdanfar, Z., & Sharma, A. (2015). Urban drainage system planning and design - Challenges with climate change and urbanization: A review. *Water Science and Technology*, 72(2), 165–179. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.207>
- Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. *Water (Switzerland)*, 6(4), 976–992. <https://doi.org/10.3390/w6040976>