

KAJIAN INDEKS HUJAN EKSTREM DI WILAYAH INDONESIA

STUDY OF EXTREME RAINFALL INDEX IN INDONESIAN REGION

Kiki^{1*}, M. Agung Fauzi², Nunun Nurhayati³, Khairani K.N.A³

^{1,2}BMKG Jakarta, Jl. Angkasa 1 No 2, Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10610

³Prodi Klimatologi Terapan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Babakan Tengah, Kecamatan Dramaga Jawa Barat 16680

*E-mail: kiki@bmkg.go.id

Naskah masuk: 29 Desember 2023 Naskah diperbaiki: 26 Maret 2024 Naskah diterima: 7 Mei 2024

ABSTRAK

Hujan ekstrem didefinisikan sebagai hujan yang terjadi dengan intensitas lebat atau hujan sangat tinggi dalam waktu yang singkat, yang mampu mengakibatkan bencana hidrometeorologi. Kajian ini menganalisis tentang pengaruh hujan ekstrem yang memainkan peran penting pada periode jangka panjang di beberapa tipe iklim yang berbeda, yakni tipe iklim hutan hujan tropis, monsun tropis, serta sabana tropis, dalam periode waktu 30 tahun terakhir, yang masing-masing diwakili Pontianak, Semarang, dan Kupang. Hasil kajian menunjukkan kejadian hujan ekstrem dengan persentase tertinggi ke terendah berturut-turut tercatat di Pontianak, Semarang, dan Kupang, di sepanjang periode kajian. Selanjutnya, berdasarkan analisis tren, diketahui bahwa terdapat tren peningkatan hujan ekstrem ditemui di Pontianak untuk semua indeks hujan ekstrem, tren dominan turun di Kupang, dan tren bervariasi (naik/turun) di Semarang. Temuan dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian perubahan iklim di masa depan dan untuk pengembangan strategi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di Indonesia.

Kata kunci: Hujan, Ekstrem, Indeks, Tren

ABSTRACT

Extreme rainfall is defined as rain that occurs with heavy intensity or very high rainfall in a short period of time, which can lead to hydrometeorological disasters. This study analyzes the influence of extreme rainfall that plays an important role in the long-term period in several different climate types, namely tropical rainforest, tropical monsoon, and tropical savanna climate types, in the last 30 years, represented by Pontianak, Semarang, and Kupang, respectively. The results showed that the highest to lowest percentage of extreme rainfall events were recorded in Pontianak, Semarang and Kupang, respectively, throughout the study period. Furthermore, based on trend analysis, it is known that there is an increasing trend of extreme rainfall found in Pontianak for all extreme rainfall indices, a dominant downward trend in Kupang, and a variable trend (up/down) in Semarang. The findings of this study can be used as a reference for future climate change research and for the development of climate change adaptation and mitigation strategies in Indonesia.

Keywords: Rainfall, Extreme, Index, Trend

1. Pendahuluan

Hujan ekstrem secara umum diartikan sebagai peristiwa hujan yang terjadi dengan intensitas lebat atau hujan sangat tinggi dalam waktu yang singkat. Ada beberapa definisi digunakan

oleh para ahli mengenai curah hujan lebat yang mengakibatkan kondisi cuaca ekstrem. Salah satu definisi yang paling umum adalah curah hujan harian yang melebihi nilai ambang batas tertentu. Nilai ambang batas ini dapat berbeda-beda tergantung pada lokasi dan kondisi iklim

di suatu wilayah. Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), curah hujan lebat adalah hujan harian dengan intensitas minimal 150 mm/hari [1]. Frekuensi hujan lebat dan ekstrem di Indonesia cenderung meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan hujan ekstrem terutama terjadi di wilayah dataran tinggi, namun di wilayah dataran rendah memiliki kecenderungan laju penurunan hujan ekstrem [2].

Tipe iklim Köppen-Geiger telah menggambarkan secara umum kondisi iklim di wilayah tropis atau di sekitar khatulistiwa seperti di Indonesia. Diantaranya adalah tipe iklim Af (hutan hujan tropis), Am (monsun tropis), dan Aw (sabana tropis). Klasifikasi iklim tersebut berasal dari parameter rata-rata hujan dan suhu udara tahunan pada periode lampau yang memungkinkan tipe iklim bisa diperbaharui menyesuaikan perubahan kondisi parameter terkini [3]. Hal ini sejalan dengan adanya curah hujan ekstrem yang memiliki tren peningkatan dan penurunan yang melampaui batas tertentu setiap tahunnya di wilayah Indonesia [4].

Beberapa penelitian telah membahas variabilitas curah hujan di wilayah Indonesia yang melibatkan dampak cuaca ekstrem dengan menghubungkannya pada indeks hujan ekstrem seperti PrcpTOT, RX5day, R20mm, R50mm, dan lain sebagainya. Namun kurang banyak perhatian yang diberikan pada indeks curah hujan ekstrem dengan membandingkannya di wilayah tipe iklim yang berbeda-beda. Pada kajian ini akan mencoba untuk meningkatkan pemahaman kita tentang pengaruh hujan ekstrem yang memainkan peran penting pada periode jangka panjang di beberapa tipe iklim yang berbeda. Kami juga menganalisis bagaimana tren indeks hujan ekstrem yang berbeda dalam memodulasi hujan ekstrem pada tipe iklim Af (Pontianak), Am (Semarang), dan Aw (Kupang). Hal ini mencakup investigasi perubahan kontribusi relatif dari frekuensi dan intensitas hujan ekstrem terhadap curah hujan total pada ambang batas yang berbeda dengan ketinggian yang berbeda. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran umum kondisi hujan ekstrem yang terjadi pada tipe iklim berbeda sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan untuk upaya aksi mitigasi dan adaptasi dalam mengurangi dampak hujan ekstrem.

Iklim Ekstrem. Iklim ekstrem adalah peristiwa cuaca yang sangat jarang terjadi dan biasanya terjadi di luar rentang normal yang diharapkan [5]. Contoh iklim ekstrem meliputi badai, banjir,

kekeringan, gelombang panas, dan badai salju yang sangat parah. Perubahan iklim dapat mempengaruhi frekuensi, intensitas, dan durasi dari peristiwa iklim ekstrem, sehingga memperburuk dampaknya pada lingkungan dan masyarakat. Iklim ekstrem dapat memiliki dampak yang signifikan pada lingkungan dan manusia dan dapat mempengaruhi kehidupan manusia, termasuk kesehatan, keamanan pangan, dan infrastruktur. Studi tentang iklim ekstrem penting untuk memahami perubahan iklim dan membantu dalam pengambilan keputusan untuk mengurangi dampak negatifnya [6]. Beberapa dampak iklim ekstrem yang umum meliputi:

1. Banjir dan longsor: Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan banjir dan longsor, yang dapat merusak properti dan infrastruktur, serta mengancam keselamatan manusia.
2. Kekeringan: Kekurangan curah hujan yang signifikan dapat menyebabkan kekeringan, yang dapat mempengaruhi pertanian, menyebabkan kekurangan air, dan mengancam keberlangsungan hidup manusia dan hewan.
3. Badai dan angin kencang: Badai dan angin kencang dapat merusak properti dan infrastruktur, serta mengancam keselamatan manusia.
4. Gelombang panas: Gelombang panas dapat menyebabkan kematian dan masalah kesehatan lainnya, terutama pada orang yang rentan seperti orang tua dan anak-anak.
5. Badai salju dan cuaca dingin: Badai salju dan cuaca dingin yang ekstrem dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti hipotermia dan frostbite, serta merusak properti dan infrastruktur.

Dalam jangka panjang, iklim ekstrem juga dapat mempengaruhi perubahan iklim dan lingkungan secara keseluruhan. Oleh karena itu, penting untuk memahami dan mengatasi dampak cuaca ekstrem untuk melindungi lingkungan dan manusia.

Indeks Hujan Ekstrem. Indeks iklim ekstrem adalah serangkaian parameter yang digunakan untuk mengukur perubahan iklim dan dampaknya pada ekstrem iklim seperti gelombang panas, kekeringan, banjir, dan badai. Indeks ini dikembangkan oleh Joint CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) dan mencakup 27 indeks yang mengukur frekuensi, intensitas, dan durasi dari peristiwa iklim ekstrem [5]. Indeks hujan ekstrem yang dianalisis dalam penelitian ini sebanyak 13

indeks, selengkapnya disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Indeks hujan ekstrem yang digunakan dalam kajian ini berdasarkan referensi dari *Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDI)* beserta definisi dan satuan

Indeks	Definisi	Notasi	Satuan
<i>PRCPTOT</i>	Jumlah curah hujan tahunan dengan $RR \geq 1$ mm / hari	$RR \geq 1$ mm	mm
<i>WDays</i>	Jumlah hari hujan ($RR > 1$)	$RR > 1$ mm	hari
<i>RX1day</i>	Jumlah curah hujan tertinggi dalam periode satu hari. Misalkan RR_{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Maka nilai maksimum 1 hari untuk periode j adalah:	$RX1day = \max_j (RR_{ij})$	mm
<i>RX5day</i>	Jumlah curah hujan tertinggi dalam periode lima hari. Misalkan RR_{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Maka nilai maksimum 5 hari untuk periode j adalah:	$RX5day = \max_j (RR_{ij})$	mm
<i>R10mm</i>	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) ≥ 10 mm. Misalkan RR_{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	$RR_{ij} \geq 10$ mm	hari
<i>R20mm</i>	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) ≥ 20 mm. Misalkan RR_{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	$RR_{ij} \geq 20$ mm	hari
<i>R50mm</i>	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) ≥ 50 mm. Misalkan RR_{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	$RR_{ij} \geq 50$ mm	hari
<i>R100mm</i>	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) ≥ 100 mm. Misalkan RR_{ij} adalah jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	$RR_{ij} \geq 100$ mm	hari
<i>R150mm</i>	Jumlah hari di mana RR (jumlah curah hujan harian) ≥ 150 mm. Misalkan RR_{ij} adalah	$RR_{ij} \geq 150$ mm	hari

	jumlah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari di mana:	
<i>CDD</i>	Panjang maksimum hari kering ($RR < 1$ mm). Misalkan RR_{ij} adalah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari terbanyak yang berurutan di mana:	$RR_{ij} < 1$ mm hari
<i>CWD</i>	Panjang maksimum periode hari hujan ($RR \geq 1$ mm). Misalkan RR_{ij} adalah curah hujan harian pada hari ke-i dalam periode ke-j. Hitung jumlah hari terbanyak yang berurutan di mana:	$RR_{ij} > 1$ mm hari
<i>R95pTOT</i>	Curah hujan akibat hari yang sangat basah ($>$ persentil ke-95). Misalkan RR_{wj} adalah jumlah curah hujan harian pada hari basah w RR mm (≥ 1.0) dalam periode j dan RR_{wn95} menjadi persentil ke-95 dari curah hujan pada hari basah. Jika W menunjukkan jumlah hari basah dalam periode tersebut, maka:	dengan $RR_{wj} > RR_{wn95}$ mm
<i>R99pTOT</i>	Curah hujan akibat hari yang sangat basah ($>$ persentil ke-99). Misalkan RR_{wj} adalah jumlah curah hujan harian pada hari basah w RR mm (≥ 1.0) dalam periode j dan RR_{wn99} menjadi persentil ke-99 dari curah hujan pada hari basah. Jika W menunjukkan jumlah hari basah dalam periode tersebut, maka:	$R99pj =$ mm

Jenis Iklim di Indonesia berdasarkan Köppen-Geiger. Iklim di Indonesia dipengaruhi oleh sistem monsun, dengan musim hujan dan kemarau. Musim hujan terjadi dari September hingga Februari, dengan puncak curah hujan pada Januari, sedangkan musim kemarau terjadi dari Maret hingga Agustus, memuncak pada bulan Agustus [7]. Orang awam mengenal iklim tropis sebagai daerah dengan suhu tinggi, curah hujan tinggi, dikelilingi oleh hutan lebat, dan mendapatkan radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun.

Klasifikasi iklim Köppen adalah salah satu sistem klasifikasi iklim yang paling banyak digunakan. Sistem ini dikembangkan oleh Wladimir Köppen, seorang ahli iklim dari Jerman, sekitar tahun 1884 (dengan beberapa perubahan yang ditambahkan pada tahun 1918 dan 1936) [8]. Berdasarkan kategori iklim Köppen, iklim tropis dibagi menjadi 3, yaitu Af, Am, dan Aw. Tipe iklim Af adalah kategori Iklim Hutan Hujan Tropis, di Indonesia contohnya adalah Kota Pontianak. 'Am' adalah Iklim Monsun Tropis, di Indonesia contohnya adalah kota Semarang. Sedangkan 'Aw' adalah Iklim Sabana Tropis, di Indonesia tipe iklim ini ditunjukkan oleh kota Kupang [9].

2. Metode Penelitian

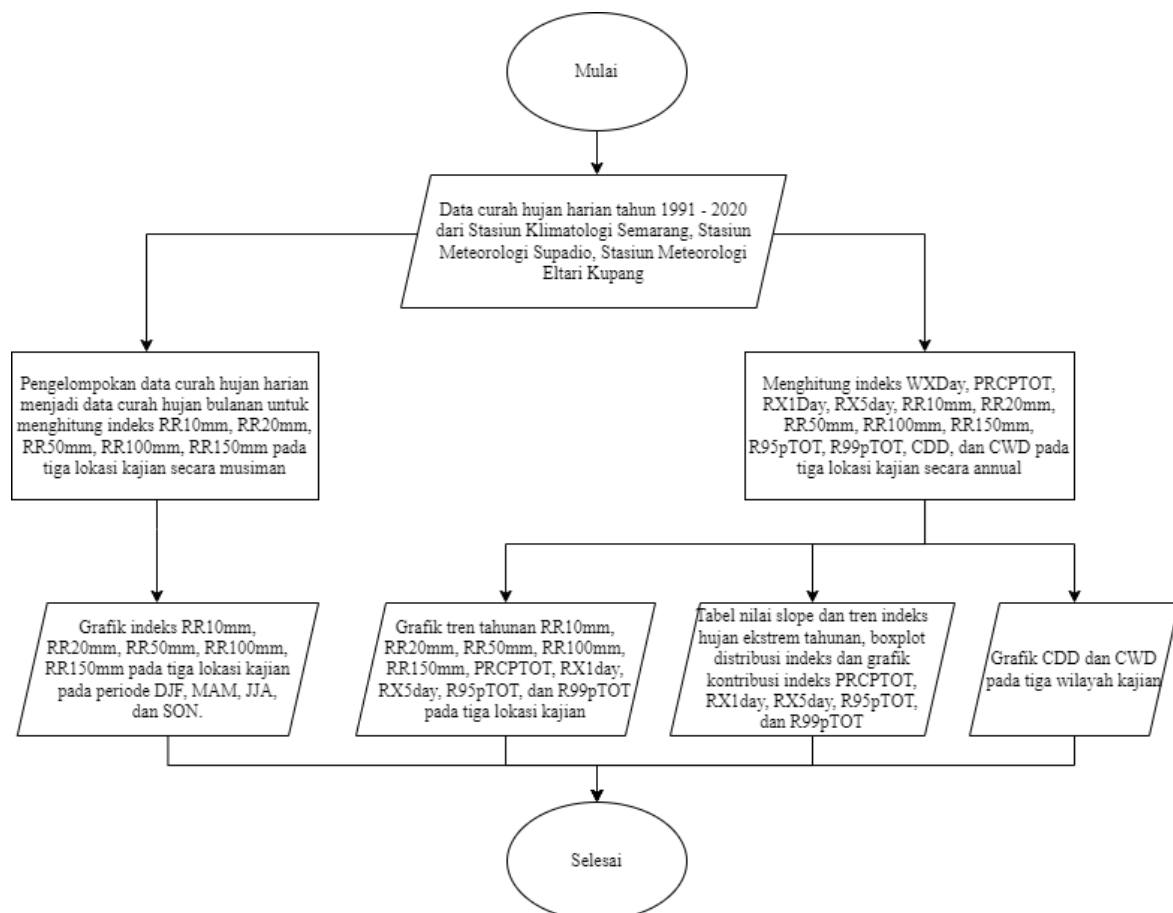
Lokasi. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan tipe iklim yang dimiliki, yaitu Kota Semarang, Pontianak, dan Kupang, selengkapnya disajikan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Lokasi titik kajian dalam penelitian

Nama	Provinsi	Lintang (°)	Bujur (°)	Elevasi (m)	Tipe Iklim
Stasiun Klimatologi Semarang	Jawa Tengah	-6,98	110,3	3	Am
Stasiun Meteorologi Supadio	Kalimantan Barat	-0,14	109,4	3	Af
Stasiun Meteorologi Eltari Kupang	Nusa Tenggara Timur	-10,16	123,6	108	Aw

Data. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan harian periode 1 Januari 1991 s.d. 31 Desember 2020 di 3 lokasi titik kajian.

Indeks. Indeks hujan ekstrem yang dianalisis dalam penelitian ini sebanyak 13 indeks yaitu: WXDay; PRCPTOT; RX1Day; RX5day; R95pTOT; R99pTOT; RR10mm; RR20mm; RR50mm; RR100mm; RR150mm; CWD; dan CDD.

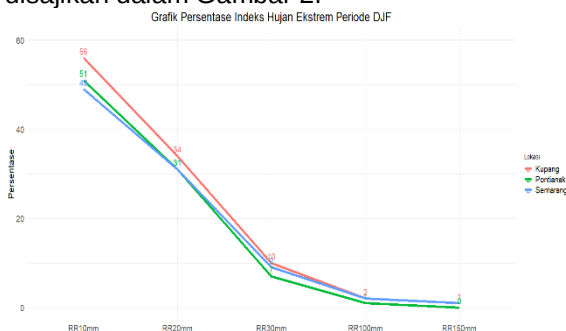


Gambar 1. Prosedur pengolahan data

3. Hasil dan Pembahasan

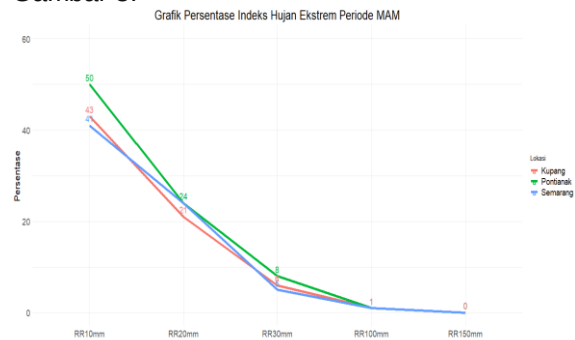
Indeks RR10mm, RR20mm, RR50mm, RR100mm, dan RR150mm Permusim. Indeks RR10mm, RR20mm, RR50mm, RR100mm, dan RR150mm merupakan indeks hujan ekstrem yang menggambarkan nilai frekuensi kejadian hujan harian dengan nilai lebih dari sama dengan masing-masing intensitas (10 mm, 20 mm, 50 mm, 100 mm, dan 150 mm), yang mengacu ke ETCCDI. Secara umum berdasarkan hasil analisis kelima indeks hujan ekstrem ini di 3 titik kajian yang mewakili 3 tipe iklim berbeda menunjukkan bahwa di semua lokasi kejadian kelas intensitas hujan yang dominan adalah hujan intensitas ≥ 10 mm, dengan kisaran persentase antara 39-49%. Diikuti dengan intensitas ≥ 20 mm dengan kisaran 20-26%. Sementara untuk 3 kelas intensitas lainnya, yaitu lebat-ekstrem, berkisar antara 0.1-7%. Urutan titik kajian dengan persentase tertinggi hingga terendah adalah Pontianak, Semarang, dan Kupang, kecuali untuk kelas intensitas RR150mm yang memiliki urutan Pontianak, Kupang, Semarang, atau jika dikaitkan dengan masing-masing tipe iklimnya adalah tipe hutan hujan tropis (Af), iklim sabana tropis (Aw), dan iklim monsun tropis (Am).

Di periode DJF, indeks hujan ekstrem di ketiga titik kajian didominasi hujan intensitas ringan hingga sedang (RR10mm & RR20mm), dengan nilai persentase antara 31-56% dari total jumlah hari hujannya. Sementara intensitas tinggi hingga ekstrem (RR50mm, RR100mm, RR150mm) berkisar antara 0.1-10%. Secara kualitatif titik kajian dengan nilai persentase tertinggi hingga terendah untuk kelas intensitas ringan-sedang secara berturut-turut adalah Kupang, Pontianak, Semarang, sementara untuk kelas intensitas lebat-ekstrem adalah Kupang, Semarang, Pontianak. Selengkapnya disajikan dalam Gambar 2.



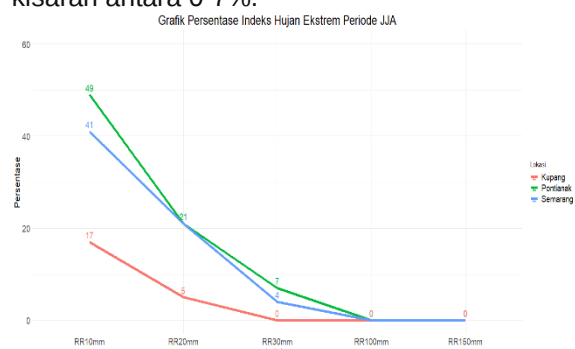
Gambar 2. Indeks hujan ekstrem REs di 3 titik kajian periode DJF

Di periode MAM atau transisi I, kelas intensitas ringan-sedang memiliki kisaran persentase antara 21-50%, dengan urutan titik kajian dengan persentase tertinggi hingga terendah adalah Pontianak, Kupang, Semarang (RR10mm), dan Pontianak, Semarang, Kupang (RR20mm). Sementara untuk kelas intensitas lebat-ekstrem, berkisar antara 0.1-8%, dengan urutan persentase tertinggi hingga terendah Pontianak, Kupang, Semarang (RR50mm), dan Kupang, Pontianak, Semarang (RR100mm, RR150mm). Selengkapnya disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Indeks hujan ekstrem REs di 3 titik kajian periode MAM

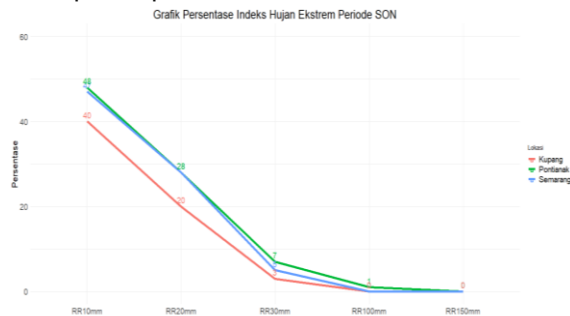
Pada periode JJA, sebagaimana disajikan dalam Gambar 4, nilai persentase hujan harian tetap didominasi kelas intensitas 10 mm (17-49%) & 20 mm (5-21 mm). Dengan selisih yang signifikan antara Semarang (21 & 41%), dan Pontianak (21 & 49 %) jika dibandingkan dengan Kupang (5 & 17%). Begitupun untuk kelas intensitas lebat-ekstrem, persentase tertinggi - terendah berturut-turut adalah Pontianak, Semarang, dan Kupang, dengan kisaran antara 0-7%.



Gambar 4. Indeks hujan ekstrem REs di 3 titik kajian periode JJA

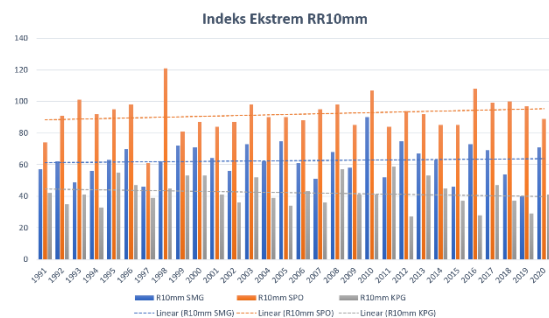
Di periode Transisi II, SON, persentase hujan di semua kelas intensitas masih tetap dominan untuk kelas ringan-sedang, dengan kisaran antara 20-47%, dengan urutan tertinggi hingga terendah adalah Pontianak, Semarang, dan Kupang. Pola yang sama ditemui untuk kelas

intensitas lebat hingga ekstrem, dengan kisaran persentase antara 0-7%. Selengkapnya ditampilkan pada Gambar 5.

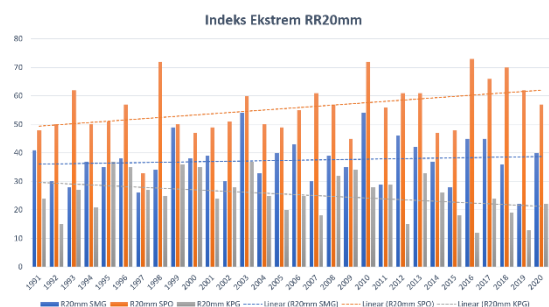


Gambar 5. Indeks hujan ekstrem REs di 3 titik kajian periode SON

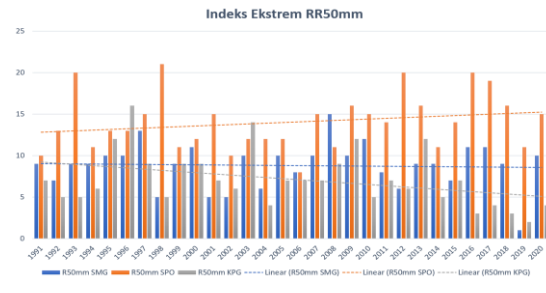
Tren indeks RR10mm, RR20mm, RR50mm, RR100mm, dan RR150mm. Hasil analisis tren kelima indeks hujan ekstrem dalam 30 terakhir terakhir menunjukkan hasil yang persisten untuk Kota Pontianak, yakni tren peningkatan frekuensi kejadian hujan di semua kelas intensitas. Sementara untuk Kota Semarang, tren peningkatan terlihat di frekuensi kejadian hujan intensitas 10 mm dan 20 mm, dan tren menurun untuk frekuensi kejadian hujan intensitas 50 mm, 100 mm, serta 150 mm. Sedangkan di Kota Kupang, tren dominan menurun terlihat di semua frekuensi intensitas hujan. Selengkapnya disajikan pada Gambar 6 hingga 10 berikut ini.



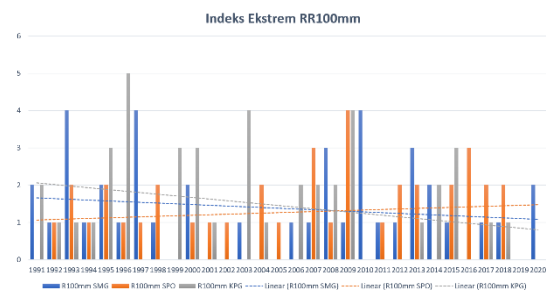
Gambar 6. Tren indeks ekstrem RR10mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)



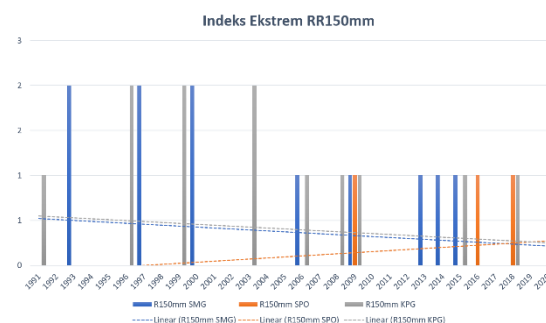
Gambar 7. Tren indeks ekstrem RR20mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)



Gambar 8. Tren indeks ekstrem RR50mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)



Gambar 9. Tren indeks ekstrem RR100mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)



Gambar 10. Tren indeks ekstrem RR150mm untuk Semarang (biru), Pontianak (merah), dan Kupang (hijau)

Tren indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT. Indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT merupakan indeks hujan ekstrem yang menggambarkan nilai intensitas hujan di periode tertentu dengan formula perhitungan seperti pada Tabel 2. Indeks-indeks ini juga sering digunakan untuk mengidentifikasi tren jangka panjang dari hujan ekstrem dengan melihat komponen intensitas hujan pada dataset multi-tahunan. Hasil dari plot tren

PRCPTOT menunjukkan bahwa ada kecenderungan umum terhadap berkurangnya curah hujan total di semua skala waktu. Tingkat penurunan terbesar terlihat pada skala tahunan wilayah Kupang (-16 mm/tahun) dan diikuti oleh wilayah Semarang (-0,76 mm/tahun). Namun, berbeda dengan Pontianak yang memiliki tren positif dengan laju peningkatan curah hujan total tahunan sebesar 17 mm/tahun.

Pada indeks RX1day dan RX5day, terdapat perbedaan signifikan antara tren laju penurunan curah hujan ekstrem di wilayah Kupang dengan tipe iklim sabana tropis dan tren laju peningkatan hujan ekstrem di wilayah Pontianak dengan tipe iklim hutan hujan tropis. Meskipun Semarang cenderung secara umum menunjukkan tren penurunan hujan ekstrem namun tidak signifikan secara statistik. Nilai *slope* dan tren dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *slope* dan *tren* indeks hujan ekstrem tahunan periode 1991-2020 di tiga wilayah kajian. SS menunjukkan tren signifikan statistik pada 5% tingkat signifikan (P-Value <0.5). SNS menunjukkan tren non-signifikan statistik pada 5% tingkat signifikan (P-Value <0.5).

Stasiun	Indeks Hujan Ekstrem									
	PRCPTOT		RX1day		RX5day		R95pTOT		R99pTOT	
	Slope	Trend	Slope	Trend	Slope	Trend	Slope	Trend	Slope	Trend
Kupang	-16	SS	-0.35	SS	-1	SS	-13	SS	-4.1	SNS
Semarang	-0.76	SNS	0.1	SNS	-0.3	SNS	-3.5	SNS	-2.5	SNS
Pontianak	17	SS	0.13	SNS	0.61	SS	9.2	SNS	2.5	SNS

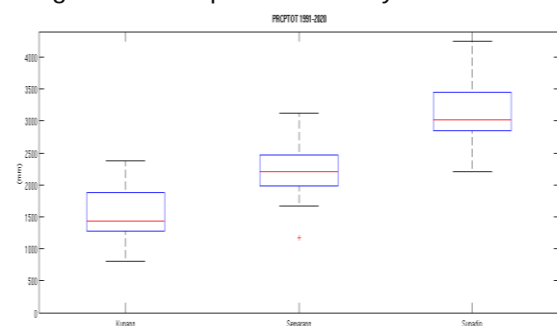
Tabel 3 menampilkan tren curah hujan total tahunan yang teridentifikasi bahwa jumlah curah hujan total tahunan (PRCPTOT) menurun di Kupang dan Semarang namun meningkat di Pontianak. Jumlah curah hujan rata-rata tahunan di Kupang menurun dan tren penurunannya signifikan secara statistik. Sedangkan di Semarang menurun namun tidak signifikan. Berbeda halnya dengan Pontianak memiliki tren peningkatannya signifikan secara statistik. Laju tren penurunan curah hujan rata-rata tahunan bervariasi dari -0.76 mm/tahun hingga -16 mm/tahun sedangkan laju tren peningkatan 17 mm/tahun untuk Pontianak.

Kemudian dapat ditunjukkan tren indeks curah hujan berbasis intensitas yaitu indeks R95pTOT menunjukkan tren yang menurun di Kupang dan Semarang dengan tren yang signifikan secara statistik di Kupang berkisar -13 mm/tahun dan -3.5 mm/tahun di Semarang dengan tren tidak terlalu signifikan secara statistik. Hanya satu stasiun yang mengalami tren peningkatan, dengan laju 9.2 mm/tahun. R99pTOT menunjukkan tren penurunan di Kupang dan Semarang berkisar antara -2.5 mm/tahun hingga -4.1 mm/tahun. Namun Pontianak menunjukkan laju tren peningkatan berkisar 2.5 mm/tahun.

Semua tren secara statistik tidak signifikan untuk indeks R99p. RX1Day menurun secara signifikan di Kupang berkisar -0.35 mm/tahun, namun Semarang dan Pontianak sedikit meningkat namun tidak signifikan dengan tingkat perubahan berkisar antara 0.1 hingga 0.13 mm/tahun. Indeks RX5Day menurun secara signifikan di Kupang, dengan tingkat

perubahan -1 mm/tahun. Sedangkan Semarang menurun namun tidak signifikan di nilai -0.3 mm/tahun. Sebaliknya Pontianak meningkat secara signifikan dengan tingkat perubahan 0.61 mm/tahun.

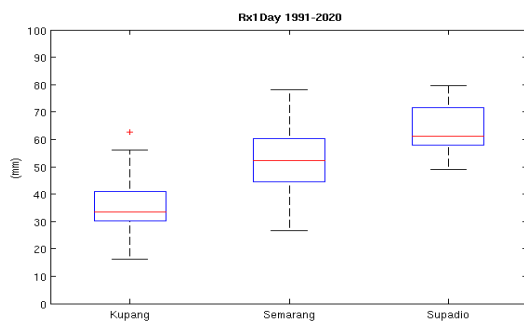
Distribusi indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT. Intensitas hujan ekstrem dapat dilihat pada indeks PRCPTOT seperti di Gambar 11, dimana wilayah pengamatan memiliki distribusi umum yang tercakup dalam interkuartil boxplot dengan rentang nilai yang dapat dijadikan sebagai threshold atau batasan acuan. Kupang memiliki interkuartil dengan kisaran antara 1300 mm dan 1900 mm yang merupakan terendah dibandingkan dengan Semarang dan Pontianak. Interkuartil Pontianak di kisaran 2700 mm hingga 3500 mm sehingga menjadi yang tertinggi pada indeks PRCPTOT ini. Hal ini menjadi gambaran umum yang dapat mengkonfirmasi tipe iklim di wilayah tersebut.



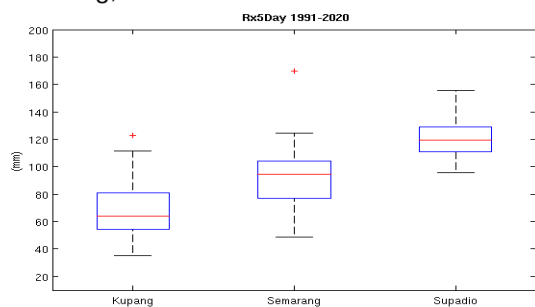
Gambar 11. Boxplot Indeks hujan ekstrem PRCPTOT periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak

Kejadian curah hujan ekstrem dalam waktu singkat (RX1day dan RX5day) pada Gambar 12

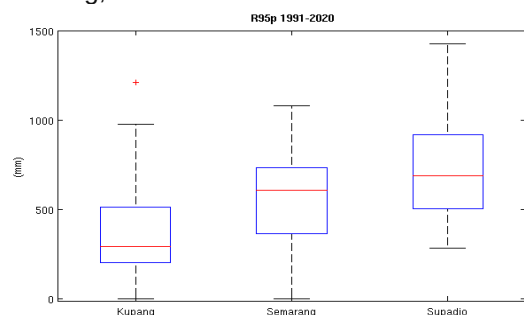
& Gambar 13 menunjukkan interkuartil yang lebih rendah di Kupang dengan kisaran antara 30 mm (RX1day) dan 42 mm (RX5day). Sedangkan wilayah Pontianak memiliki interkuartil tertinggi dibanding 2 wilayah lainnya. Rentang interkuartil Pontianak di kisaran 58 mm (RX1day) dan 72 mm (RX5day), hampir dua kali lipat dari interkuartil Kupang. Sedangkan median 62 mm adalah tertinggi untuk RX1day dan 120 mm untuk RX5day. Gambaran boxplot pada interkuartil tertinggi hingga terendah pada Indeks RX1day dan RX5day secara berurutan yaitu Pontianak, Semarang dan terendah di Kupang. Hal ini dapat dikonfirmasi juga pada Gambar 14 dan Gambar 15 yang menunjukkan indeks hujan ekstrem R95pTOT dan R99pTOT memiliki distribusi interkuartil yang sama. Pada indeks ini memiliki perbedaan besar antara nilai maksimum dengan minimum yang menunjukkan tingginya variabilitas antartahunan.



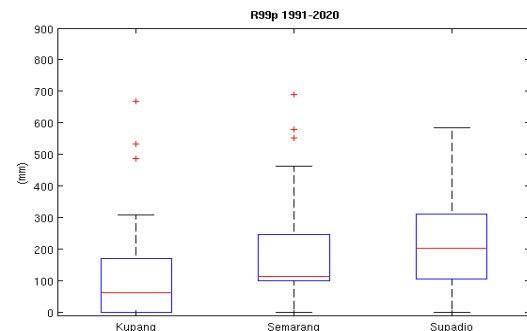
Gambar 12. Boxplot Indeks hujan ekstrem RX1day periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak.



Gambar 13. Boxplot Indeks hujan ekstrem RX5day periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak.

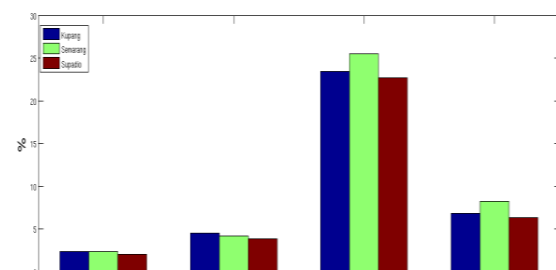


Gambar 14. Boxplot Indeks hujan ekstrem R95pTOT periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak.



Gambar 15. Boxplot Indeks hujan ekstrem R99pTOT periode 1991-2020 di Kupang, Semarang, dan Pontianak.

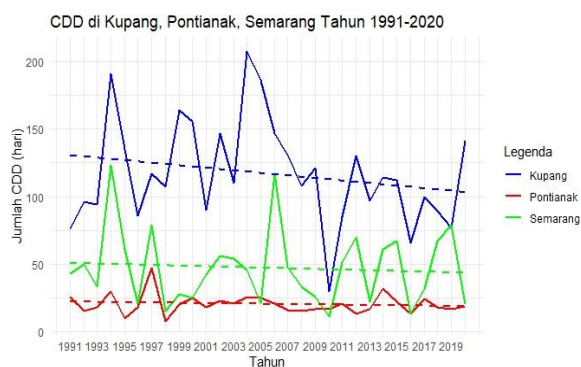
Kontribusi indeks RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT terhadap PRCPTOT. Nilai persentase kontribusi relatif hujan ekstrem tertinggi terjadi di indeks R95pTOT, dimana berkisar 23-26% terhadap jumlah total hujannya. Hal ini mengkonfirmasi bahwa dari indeks tersebut, rasio intensitas hujan ekstrem 1 berbanding 4 dari total hujannya. Kemudian diikuti persentase kontribusi relatif hujan ekstrem yang rendah terhadap jumlah total hujannya di indeks R99pTOT, RX5day, dan RX1day yang masing-masing berkisar 6-8%, 3-5%, dan 2-3%. Secara umum untuk wilayah Semarang lebih tinggi persentase kontribusi relatif hujan ekstremnya dibanding 2 wilayah lainnya yaitu Kupang dan Pontianak. Untuk kasus ini jika dikaitkan dengan kondisi topografi dimana Semarang memiliki elevasi lebih rendah dibanding 2 wilayah lainnya tersebut, maka persentase kontribusi relatif intensitas hujan ekstremnya lebih meningkat seiring dengan elevasi wilayah yang lebih rendah. Namun, hal ini perlu diteliti lebih lanjut mengenai hubungan antara topografi dan hujan ekstrem. Selengkapnya disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. Kontribusi relatif (%) hujan ekstrem terhadap jumlah total hujan pada indeks RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT periode 1991-2020 di Kupang (biru), Semarang (hijau), dan Pontianak (cokelat).

Consecutive Dry Days (CDD) dan Consecutive Wet Days (CWD). *Consecutive dry days* (CDD) merupakan jumlah hari terbanyak berturut-turut yang dihitung dalam satu tahun dengan ambang batas hujan di bawah 1 mm [10][11][12]. Perhitungan CDD merupakan salah satu indeks dalam perhitungan curah hujan ekstrem yang penting untuk dilakukan karena memiliki keterlibatan yang signifikan terhadap sumber daya air dan pertanian pada suatu wilayah. Kondisi yang kering berkepanjangan dapat mengakibatkan berkurangnya hasil panen dan meningkatnya kekurangan air [12]. Indeks CDD yang menunjukkan derajat kekeringan juga berpotensi sebagai indikator kekeringan (CDD yang berasosiasi dengan kekeringan atau CDDd) [10].

Nilai CDD pada ketiga daerah kajian pada tahun 1991 - 2020 ditunjukkan melalui Gambar 17. Nilai CDD secara keseluruhan mempresentasikan kondisi kering di masing-masing wilayah kajian, dengan kondisi terkering hingga terbasah secara berurutan yaitu daerah Kupang, Semarang, dan Pontianak. Jumlah CDD tertinggi pada daerah Kupang mencapai 208 hari yang terjadi pada tahun 2004, daerah Semarang dengan 123 hari pada tahun 1994, dan daerah Pontianak dengan 47 hari pada tahun 1997. Sedangkan jumlah CDD terendah pada daerah Kupang mencapai 30 hari yang terjadi pada tahun 2010, daerah Semarang dengan 11 hari pada tahun 2010, dan daerah Pontianak dengan 8 hari pada tahun 1998.

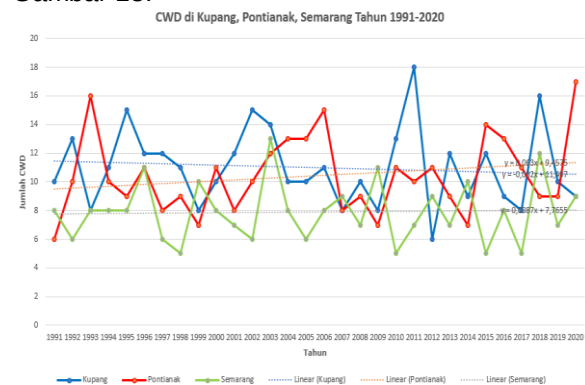


Gambar 17. Grafik nilai CDD di Kupang, Pontianak, Semarang pada tahun 1991-2020

Ketiga daerah kajian memiliki nilai tren yang menurun dalam jangka waktu 30 tahun, dengan nilai tren sebesar -0.9404 untuk daerah Kupang dan -0.2498 untuk daerah Semarang, dan -0.1152 untuk daerah Pontianak. Nilai tren CDD yang menurun menunjukkan ketiga titik tersebut menjadi semakin basah dalam periode waktu 1991 - 2020. Namun, hal tersebut belum bisa digunakan sebagai acuan bahwa masing-

masing wilayah tersebut mengalami kondisi yang lebih basah karena masing-masing sumber data berasal dari satu titik. Data dari satu titik yang diperoleh oleh satu alat penakar curah hujan hanya mempresentasikan satu area yang kecil [10].

Sementara untuk indeks CWD, nilai rata-rata CWD di wilayah Semarang sebesar 8 hari dengan nilai maksimum CWD sebesar 13 hari terjadi pada tahun 2003 (17/12/2003 – 29/12/2003) dan minimum sebesar 6 hari yang terjadi tahun 1998, 2010, 2015 dan 2017. Kemudian berdasarkan tren, CWD di Semarang cenderung persisten. Penurunan tren indeks curah hujan mengakibatkan menurunnya jumlah curah hujan pada suatu wilayah. Penurunan tren yang signifikan terlihat pada indeks PRCPTOT dimana nilai PRCPTOT menurun di Kupang dan Semarang tetapi meningkat di Pontianak, selengkapnya di Gambar 18.



Gambar 18. Grafik nilai CWD di Kupang, Pontianak, Semarang pada tahun 1991-2020

Terjadinya penurunan dan peningkatan tren pada indeks PRCPTOT berimplikasi pada indeks CDD dan CWD. Kenaikan tren indeks CDD misalnya pada daerah Kupang akan menurunkan jumlah peristiwa hujan dengan intensitas 10 mm (R10mm), 20 mm per hari (R20mm), 50 mm per hari (RR50mm), 100 mm perhari (RR100mm) dan 150 mm (RR150mm). Selain itu, dengan meningkatnya jumlah deret hari kering yang terjadi maka jumlah peristiwa hujan ekstrem (R95p dan R99p) akan berkurang.

4. Kesimpulan

Beberapa poin yang dapat ditarik sebagai kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan diatas yaitu:

1. Berdasarkan hasil analisis indeks hujan ekstrem RR10mm, RR20mm, RR50mm, RR100mm, dan RR150mm, secara umum menunjukkan Kota Pontianak memiliki

- persentase frekuensi kejadian tertinggi dibandingkan Kota Semarang, dan Kota Kupang. Secara kuantitatif relatif tidak jauh berbeda, kecuali untuk periode musim JJA, yang memiliki selisih persentase yang signifikan antara Pontianak, dan Semarang, dengan Kupang. Jika dikaitkan dengan tipe iklim dari ketiga titik kajian, maka dapat disimpulkan bahwa tipe iklim dengan persentase kelima indeks diatas dari yang tertinggi hingga terendah berturut-turut adalah tipe iklim hutan hujan tropis (Af), iklim sabana tropis (Aw), dan iklim monsun tropis (Am). Sementara tren kelima indeks hujan ekstrem ini dalam 30 tahun terakhir adalah meningkat (Pontianak (semua indeks), dan Semarang (RR10mm & RR20mm)), serta menurun (Kupang (semua indeks), dan Semarang (RR50mm, RR100mm, RR150mm)).
2. Intensitas hujan ekstrem dari hasil tren indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT menunjukkan bahwa adanya perbedaan signifikan antara tren laju penurunan curah hujan ekstrem di wilayah Kupang yang memiliki tipe iklim sabana tropis dengan tren laju peningkatan hujan ekstrem di wilayah Pontianak yang memiliki tipe iklim hutan hujan tropis. Namun, Semarang cenderung secara umum terdapat tren penurunan hujan ekstrem namun tidak signifikan secara statistik.
 3. Interkuartil boxplot pada indeks PRCPTOT, RX1day, RX5day, R95pTOT, dan R99pTOT dapat mengkonfirmasi tipe iklim di wilayah kajian ini dimana interkuartil tertinggi hingga terendah secara berurutan yaitu Pontianak (Af), Semarang (Am), dan terendah di Kupang (Aw). Distribusi kuartil pada indeks ini memiliki perbedaan besar antara nilai maksimum dengan minimum yang menunjukkan tingginya variabilitas antar-tahunan.
 4. Nilai persentase kontribusi relatif hujan ekstrem tertinggi terjadi di indeks R95pTOT, dimana berkisar 23-26% terhadap jumlah total hujannya. Secara umum Semarang lebih tinggi persentase kontribusi relatif hujan ekstremnya dibandingkan dengan Kupang dan Pontianak dimana hal ini menunjukkan persentase kontribusi relatif intensitas hujan ekstremnya lebih meningkat seiring dengan elevasi wilayah yang lebih rendah.
 5. Indeks CDD berbanding terbalik dengan indeks CWD. Indeks CDD mengalami penurunan yang menunjukkan deret hari kering semakin berkurang sementara deret hari basah yang didefinisikan pada CWD

mengalami peningkatan, kecuali di Kupang, dalam periode waktu 1991-2020. Nilai CDD dengan kondisi terkering hingga terbasah secara berurutan yaitu daerah Kupang, Semarang, dan Pontianak, sedangkan nilai CWD dengan kondisi terbasah sampai terkering yaitu Pontianak, Semarang, Kupang.

Daftar Pustaka

- [1] BMKG. (2010). *Peraturan Kepala BMKG No. KEP. 009 tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem*. Jakarta:BMKG.
- [2] Nugroho, S., Febriamansyah, R., Ekaputra, E. G., & Gunawan, D. (2019). Analisis iklim ekstrim untuk deteksi perubahan iklim di Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 17(1), 7-14.
- [3] Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 11, 1163-1644.
- [4] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2018). *Proyeksi Iklim Atmosferik*. Jakarta: BPN
- [5] World Meteorological Organisation. (2009). *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of inform decisions for adaptation*. WCDMP-No. 72. Geneva (CH): WMO.
- [6] Kurniadi, A., Weller, E., Min, S. K., & Seong, M. G. (2021). Independent ENSO and IOD impacts on rainfall extremes over Indonesia. *Int J Climatol*. 41: 3640-3656. doi: 10.1002/joc.7040.
- [7] Lestari, S., King, A., Vincent, C., Karoly, D., & Protat, A. (2019). Seasonal dependence of rainfall extremes in and around Jakarta, Indonesia. *Weather and Climate Extremes*, 24, 1-13. doi: 10.1016/j.wace.2019.100202.
- [8] Hess, D., & Tassa, D. (2017). *McKnight Physical Geography: A Landscape Appreciation* edisi 12. Pearson.
- [9] Wikipedia. (2024). Klasifikasi iklim Köppen. Retrieved from https://id.wikipedia.org/wiki/Klasifikasi_iklim_K%C3%B6ppen.
- [10] Valverde, M. C., & Marengo, J. A. (2014). Extreme rainfall indices in the hydrographic basins of Brazil. *Open Journal of Modern Hydrology*, 4, 10-26. doi: 10.4236/ojmh.2014.41002.
- [11] Beis, D. S., Pattipeilohy, W. J., & Hadi, A. S. (2022). Identifikasi penurunan tren curah hujan, CDD dan CWD di Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. *BGB*. 3(1), 8-16.
- [12] Ghanim, A. A. J., Anjum, N. M., Rasool, G., Saifullah, Irfan, M., Rahman, S., Mursal, S. N. F., & Niazi, U. M. (2023). Assessing spatiotemporal trends of total and extreme precipitation in a subtropical highland region: a climate perspective. *PLoS ONE*, 18(8), 1-19. doi: 10.1371/journal.pone.0289570.