

# Analisis Potensi Kejadian Curah Hujan Ekstrem di Masa Mendatang Sebagai Dampak dari Perubahan Iklim di Pulau Jawa Berbasis Model Iklim Regional *Conformal Cubic Atmospheric Model*

Amalia Nurlatifah<sup>1</sup>, Rahaden Bagas Hatmaja<sup>1</sup>, dan Aulia Arip Rakhman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Sangkuriang Cisitu, Bandung, Jawa Barat, Indonesia; e-mail: [amalianurlatifah92@gmail.com](mailto:amalianurlatifah92@gmail.com)

<sup>2</sup>Stasiun Meteorologi Iskandar Kotawaringin Barat, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Jl. Iskandar, Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah

## ABSTRAK

Perubahan iklim dapat mengakibatkan timbulnya cuaca ekstrem, sehingga diperlukan upaya mitigasi dan adaptasi dampak dari cuaca ekstrem tersebut, salah satunya adalah dengan pemodelan dan proyeksi iklim. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi kejadian curah hujan ekstrem di masa mendatang sebagai dampak dari perubahan iklim di Pulau Jawa dengan menggunakan model iklim regional *Conformal Cubic Atmospheric Model* (CCAM). CCAM digunakan untuk melakukan proses *downscaling* data model iklim global GCM ACCESS 1-3, yang memiliki resolusi spasial 1°, hingga dapat mencapai 27 km. Resolusi temporal pemodelan yang dilakukan adalah harian, dengan periode pemodelan dibagi menjadi dua rentang waktu, yaitu: 1991-2020 untuk periode historis dan 2021-2050 untuk periode proyeksi dengan skenario *Recent Concentration Pathways* (RCP) 4.5. Hasil luaran CCAM dikoreksi terlebih dahulu dengan menggunakan metode koreksi bias *linear scaling*, sehingga terbukti cukup mampu menggambarkan kondisi sebenarnya curah hujan di Pulau Jawa. Dari penelitian ini, didapatkan bahwa Pulau Jawa diproyeksikan akan mengalami peningkatan curah hujan bulanan pada tahun 2021-2050. Sebagian besar wilayah Pulau Jawa akan mengalami kenaikan curah hujan bulanan sekitar 1,7-5,3 mm, dengan peningkatan paling tinggi terjadi di daratan Jawa Timur yang mencapai 15,1-22,4 mm. Beberapa daerah diproyeksikan akan mengalami penurunan nilai curah hujan maksimum harian dalam satu tahun (RX1day), dengan penurunan tertinggi terjadi di wilayah selatan perbatasan antara Jawa Tengah dan Jawa Timur, yang mencapai 6,2-15,4 %. Sebaliknya, wilayah DKI Jakarta diproyeksikan akan mengalami peningkatan nilai RX1day pada periode 2021-2050 sebesar 0,1-6,6%. Selanjutnya, peningkatan jumlah hari dalam satu tahun dengan curah hujan diatas 50 mm (R50mm) juga terjadi di hampir seluruh wilayah Pulau Jawa dengan presentase sekitar 15,9-52,7%.

**Kata kunci:** Perubahan iklim, Cuaca ekstrem, Proyeksi iklim, RX1day, R50mm

## ABSTRACT

Climate change can cause extreme weather. Thus, mitigation and adaptation to the impact of extreme weather are needed, one of which is climate modeling and projection. This study aims to analyze the potential of extreme rainfall events in the future due to climate change in Java Island by using the Conformal Cubic Atmospheric Model (CCAM) regional climate model. CCAM is used to perform the downscaling procedure of GCM ACCESS 1-3 global climate model data, with a spatial resolution of 1° so that it can be smoother up to 27 km. The temporal resolution of the modeling is daily, with the modeling period divided into two periods: 1991-2020 for the historical period and 2021-2050 for the projection period with the Recent Concentration Pathways (RCP) 4.5 scenario. The CCAM outputs were corrected using the linear scaling method so that it could describe the actual conditions of rainfall on Java Island. This research found that Java Island is projected to have increased monthly rainfall in 2021-2050. As a result, the monthly rainfall of most areas on Java Island will increase by about 1.7 to 5.3 mm, with the highest increase occurring on the mainland of East Java, which reaches 15.1 to 22.4 mm. Moreover, several areas are projected to have decreased value of the maximum daily rainfall in one year (RX1day), with the highest decrease occurring in the southern area between Central Java and East Java, which reaches 6.2 to 15.4%. Oppositely, the RX1day value over the DKI Jakarta area is projected to be increased in the 2021-2050 period by 0.1 to 6.6%. Furthermore, the number of days in a year with rainfall above 50 mm (R50mm) is projected to increase over Java Island with a percentage of around 15.9-52.7%.

**Keywords:** Climate change, Extreme weather, Climate projection, RX1day, R50mm

**Citation:** Nurlatifah, A., Hatmaja, R.B., dan Rakhman, A.A. (2023). Analisis Potensi Kejadian Curah Hujan Ekstrem di Masa Mendatang Sebagai Dampak dari Perubahan Iklim di Pulau Jawa Berbasis Model Iklim Regional *Conformal Cubic Atmospheric Model*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 21(4), 980-986, doi:10.14710/jil.21.4.980-986

## 1. Pendahuluan

Perubahan iklim adalah peristiwa berubahnya komponen atau variabel iklim akibat pemanasan global. Perubahan iklim berdampak terhadap banyak sektor di wilayah yang luas dan dalam jangka waktu yang panjang. Salah satu akibat dari perubahan iklim adalah meningkatnya frekuensi dari kejadian cuaca ekstrem, seperti banjir, kekeringan, cuaca buruk, dan angin kencang.

Kejadian cuaca ekstrem yang banyak terjadi di Indonesia, antara lain: peningkatan intensitas hujan lebat, frekuensi hujan deras yang meningkat, dan kemarau panjang. Peristiwa curah hujan yang ekstrem tersebut dapat menyebabkan banjir atau kekeringan yang berkepanjangan dan kemudian berdampak pada penurunan ekonomi yang parah dengan merusak struktur pengatur air, tanaman pertanian, dan/atau infrastruktur. Dengan demikian, diperlukan upaya adaptasi dan mitigasi untuk meminimalisir kerugian dan kerusakan akibat bencana cuaca ekstrem. Salah satu upaya mitigasi perubahan iklim adalah melalui studi mengenai pemodelan iklim.

Pemodelan iklim adalah representasi numerik dari sistem iklim berdasarkan interaksi dan kandungan dari komponen fisika, kimia, dan biologi di atmosfer (Gariano dan Guzzetti, 2021). Perkembangan model iklim dewasa ini sangat cepat dan penggunaannya sangat luas. Salah satunya adalah melalui penggunaan *Global Climate Model* (GCM) dalam memahami proses perubahan iklim di atmosfer secara global (Carter dkk., 1999). Tidak hanya itu, penggunaan model dinamik sebagai alat untuk proses *downscale* GCM, seperti *Regional Climate Modeling System* (RegCM), *Conformal Cubic Atmospheric Model* (CCAM), dan *Climate Extention for Weather Research and Forecasting* (CWRF), juga umum digunakan untuk memahami proses dan dampak dari perubahan iklim terhadap kondisi suatu wilayah dengan skala regional ataupun lokal (Rockel dkk., 2008; Giorgi dkk., 2019; McGregor, 2005). Model-model tersebut banyak digunakan karena aplikasinya yang luas dan cukup powerful. Tidak hanya untuk memahami proses fisis secara historis, pemodelan iklim juga diaplikasikan untuk proyeksi kondisi iklim di masa mendatang. Proyeksi ini dilakukan berdasarkan skenario-skenario iklim tertentu, seperti *Recent Concentration Pathways* (RCP) atau *Shared Socio Pathways* (SSP) (van Vuuren dkk., 2011; Riahi dkk., 2017).

Pulau Jawa sebagai bagian dari Benua Maritim Indonesia merupakan salah satu kawasan di garis khatulistiwa yang rentan terhadap dampak perubahan iklim, dengan dinamika atmosfer dan lautan yang sangat kompleks dan berperan penting dalam siklus iklim dunia (Measey, 2010). Pulau Jawa juga menjadi pulau yang penting di Indonesia dengan jumlah penduduk terpadat dan menjadi kawasan pemerintahan saat ini. Oleh karena itu, penting untuk

membuat langkah mitigasi dan adaptasi dampak perubahan iklim di wilayah ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati dan menginvestigasi potensi terjadinya cuaca ekstrem berupa hujan lebat di masa mendatang sebagai akibat dari perubahan iklim dengan menggunakan model iklim regional. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu upaya adaptasi dan mitigasi untuk meminimalisir dampak perubahan iklim di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa.

## 2. Data dan Metode

### 2.1. Data

#### 2.1.1. Data Observasi

Data observasi curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Southeast Asian Observation - Southeast Asian Climate Assessment and Dataset* (SA-OBS SACAD). SA-OBS SACAD adalah kumpulan data grid khusus daratan beresolusi tinggi untuk wilayah Asia Tenggara yang menyajikan jumlah curah hujan harian serta suhu harian minimum, rata-rata, dan maksimum, yang dikembangkan oleh *Southeast Asian Climate Assessment and Dataset* (SACAD; <http://sacad.database.bmkg.go.id>). Data ini disusun berdasarkan interpolasi dari berbagai data stasiun di Asia Tenggara dan Australia untuk menghasilkan data iklim harian ke dalam sebuah grid. Data SA-OBS SACAD yang digunakan memiliki resolusi spasial  $0,25^\circ$  dan resolusi temporal harian dari tahun 1998 sampai dengan 2017. Data ini digunakan sebagai data pembanding untuk validasi hasil luaran model.

#### 2.1.2. Data *Global Climate Model* (GCM)

Data GCM diperlukan sebagai masukan model iklim regional untuk membantu analisis iklim dan proyeksi data iklim hingga masa mendatang. Data GCM yang digunakan sebagai masukan model regional adalah ACCESS 1.3, dengan resolusi spasial  $1^\circ$ , yang dikembangkan oleh *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO) (Ackreley dan Domenget, 2016). Data ini dikembangkan oleh CSIRO dan merupakan versi terbaru dari GCM ACCESS. GCM ini sudah mengadopsi prinsip kerja *surface model* termasuk skema prognostik awan yang penting untuk diterapkan di wilayah Indonesia.

## 2.2. Metode

### 2.2.1. Pemodelan Iklim menggunakan Model Iklim Regional *Conformal Cubic Atmospheric Model* (CCAM)

Kekurangan dari data GCM yang tersedia adalah resolusi spasialnya yang kasar, sehingga belum cukup mampu memberikan analisis yang komprehensif mengenai kondisi iklim di suatu daerah dalam skala regional. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses *downscaling* untuk meningkatkan resolusi GCM dari skala global menjadi regional dengan menggunakan model iklim regional. Model iklim regional yang

digunakan dalam penelitian ini adalah *Conformal Cubic Atmospheric Model (CCAM)*.

CCAM merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk melakukan proses *downscaling* data GCM, sehingga dapat digunakan untuk analisis iklim regional dengan resolusi yang lebih tinggi (McGregor dkk., 2001). Data hasil luaran CCAM yang digunakan dalam penelitian ini berupa data curah hujan harian dengan resolusi spasial 27 km dari tahun 1991 sampai dengan 2050. Skenario RCP yang digunakan dalam CCAM sebagai proyeksi iklim adalah RCP 4.5, sebagai representasi skenario iklim moderat yang paling mungkin terjadi di masa mendatang.

**2.2.2. Koreksi Bias dengan Metode Linear Scaling**

Dalam memperkirakan nilai curah hujan sebagai hasil luaran model, data model pasti menghasilkan bias atau galat. Dengan demikian, diperluca suatu metode koreksi bias untuk meminimalkan kesalahan antara data model dan data observasi. Dalam penelitian ini, metode koreksi bias yang digunakan adalah metode *linear scaling*. Secara umum rumus yang digunakan untuk menghitung nilai curah hujan terkoreksi adalah sebagai berikut:

$$P_{m,d}^{cor} = P_{m,d} \times \left[ \frac{\mu(P_{obs,m})}{\mu(P_m)} \right]$$

dengan,  $P_{m,d}^{cor}$  menyatakan nilai curah hujan terkoreksi masing-masing pada hari ke-*d* bulan ke-*m*,  $P_{m,d}$  menunjukkan nilai curah hujan luaran model pada hari ke-*d* bulan ke-*m*, serta  $\mu(P_{obs,m})$  dan  $\mu(P_m)$  masing-masing menunjukkan nilai rata-rata curah hujan observasi dan model.

**2.3. Validasi Performa Model**

**2.3.1. Perhitungan Root Mean Square Error (RMSE)**

*Root Mean Square Error (RMSE)* menyatakan nilai galat dari hasil estimasi model. Jika nilai RMSE semakin dekat dengan 0, maka semakin baik kinerja model. RMSE digunakan untuk mengevaluasi data model dengan mengukur akurasi hasil luaran model terhadap data observasi. Rumus untuk menghitung nilai RMSE adalah sebagai berikut (Barnston, 1992):

$$RMSE = \left( \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right)^{1/2}$$

dengan,  $y_i$  adalah data observasi ke-*i*,  $\hat{y}_i$  adalah data luaran model ke-*i*, dan  $n$  adalah jumlah total data.

**2.3.2. Perhitungan Korelasi Pearson**

Korelasi Pearson menghitung hubungan linier antara dua variabel dengan tujuan untuk mengukur kedekatan dan kesamaan tren antara dua variable tersebut. Pada penelitian ini, nilai korelasi Pearson antara data observasi SA-OBS SACAD dengan data luaran model CCAM dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Kirch, 2008):

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

dengan,  $r$  adalah nilai koefisien korelasi Pearson,  $X$  adalah data observasi,  $Y$  adalah data luaran model CCAM, dan  $n$  adalah jumlah total data. Interpretasi nilai koefisien korelasi Pearson disajikan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Interpretasi nilai koefisien korelasi Pearson.

Interval Nilai Koefisien	Interpretasi
-1 - (-0.5)	Korelasi negatif dan kuat
-0.5 - 0	Korelasi negatif dan lemah
0	Netral
0 - 0,5	Korelasi positif dan lemah
0,5 - 1	Korelasi positif dan kuat

**2.3.3. Perhitungan Nilai Probability of Detection (POD) dan False Alarm Ratio (FAR)**

Kinerja data curah hujan luaran CCAM harus diukur dengan menggunakan teknik validasi kualitatif. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah dengan menggunakan tabel kontingensi dengan menghitung *Probability of Detection (POD)* dan *False Alarm Ratio (FAR)*. Perhitungan kedua parameter tersebut didasarkan pada tabel yang menghitung kinerja deteksi curah hujan observasi dengan curah hujan luaran model CCAM. Secara umum, format tabel kontingensi disajikan pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Tabel kontingensi.

Data Model	Data Observasi	
	Hujan	Tidak Hujan
Hujan	Hit	False Alarm
Tidak Hujan	Miss	Correct Non-Event

Nilai POD merepresentasikan jumlah data curah hujan luaran model yang tervalidasi oleh data observasi, dengan rumus sebagai berikut:

$$POD = \frac{Hits}{Hits + Misses}$$

Nilai POD berkisar pada rentang 0 sampai dengan 1. Jika nilai POD semakin mendekati 1, maka kinerja hasil luaran model semakin baik.

Nilai FAR merepresentasikan jumlah alarm palsu atau kondisi ketika data observasi menunjukkan tidak ada hujan, tetapi data luaran model menunjukkan ada hujan. Rumus untuk menghitung nilai FAR adalah sebagai berikut:

$$FAR = \frac{False Alarm}{Hits + False Alarm}$$

Nilai FAR berkisar pada rentang 0 sampai dengan 1. Jika nilai FAR semakin mendekati 0, maka kinerja hasil luaran model semakin baik.

**2.4. Penentuan Indeks Curah Hujan Ekstrem Berdasarkan Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)**

*The Expert Team for Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)* mengembangkan 27 indeks iklim ekstrem berdasarkan data curah hujan dan suhu udara harian. Indeks iklim ekstrem terdiri dari 11

indeks untuk curah hujan ekstrem dan 16 indeks untuk suhu udara ekstrem (Donat dkk., 2013). Indeks iklim ekstrem yang ditelaah oleh ETCCDI secara efektif membantu analisis mengenai cuaca ekstrem dan perubahan iklim. Pada penelitian ini, tiga indeks iklim curah hujan ekstrem dihitung berdasarkan frekuensi dan durasi terjadinya kejadian hujan ekstrem. Indeks yang diukur adalah jumlah curah hujan maksimum dalam satu hari (RX1day) dan frekuensi kejadian hujan deras dengan curah hujan lebih dari 50 mm (R50mm). Secara rinci indeks-indeks yang dihitung dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Indeks ETCCDI yang digunakan.

ID	Indikator	Unit
RX1day	Curah hujan maksimum dalam satu hari	Hari
R50mm	Jumlah hari dalam satu tahun dengan curah hujan harian lebih dari 50 mm	Hari

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Analisis Perhitungan Nilai RMSE, Koefisien Korelasi Pearson, POD, dan FAR

Dalam melakukan simulasi dan proyeksi, model iklim menggunakan persamaan matematika yang sifatnya berupa pendekatan terhadap kondisi alam yang sebenarnya. Oleh karena itu, sebuah model pasti memiliki galat atau perbedaan dengan kondisi aktual di alam. Sebelum digunakan untuk proyeksi, performa hasil luaran model CCAM diuji terlebih dahulu dengan menghitung nilai POD, FAR, RMSE, dan koefisien korelasi Pearson antara data model dan data observasi.

Pada Tabel 4, terdapat rangkuman nilai RMSE, koefisien korelasi Pearson, POD, dan FAR dari data model dan observasi, baik data model yang belum dikoreksi maupun data model yang sudah dikoreksi. Secara keseluruhan, data model yang sudah dikoreksi memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan data model yang belum dikoreksi. Meskipun begitu, peningkatan performa model tidak signifikan.

Berdasarkan perhitungan nilai RMSE, yang menyatakan galat atau selisih nilai antara data observasi dan data model, diperoleh bahwa nilai RMSE keseluruhan data model yang sudah dikoreksi mengalami penurunan yang cukup signifikan, dengan nilai RMSE data curah hujan harian di Pulau Jawa berkisar 3-4 mm (Tabel 4). Dengan demikian, dapat

disimpulkan bahwa metode koreksi bias *linear scaling* cukup mampu memperbaiki galat antara data model dan data observasi.

Di sisi lain, perhitungan nilai koefisien korelasi Pearson tidak terdapat peningkatan nilai yang signifikan antara data model baik sebelum maupun setelah dikoreksi, dengan nilai rata-rata koefisien korelasi Pearson sebesar 0,39 di seluruh Pulau Jawa. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode koreksi bias *linear scaling* belum mampu memperbaiki kesamaan tren linier data model terhadap data observasi. Selanjutnya, meskipun nilai koefisien korelasi Pearson menunjukkan hubungan yang lemah, namun kesamaan tren positif ini dapat dianggap sebagai indikasi yang baik bahwa luaran model CCAM mampu menggambarkan tren linier data model terhadap data observasi.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai POD pada Tabel 4, diperoleh bahwa nilai POD rata-rata keseluruhan adalah di atas 0,80, yang berarti bahwa lebih dari 80% kejadian hujan pada data observasi dapat dijelaskan dan diprediksi oleh model (Tabel 4). Jakarta, Semarang, dan Surabaya memiliki nilai POD yang cukup tinggi di mana ketiganya memiliki nilai POD di atas 0,90, baik untuk data model yang sudah dikoreksi maupun belum. Untuk data yang sudah dikoreksi, peningkatan nilai POD rata-rata adalah sekitar 0,02, meskipun di Semarang terjadi penurunan. Oleh karena itu, koreksi bias terbukti dapat meningkatkan performa data luaran CCAM dalam hal peningkatan nilai POD.

Selanjutnya, nilai FAR rata-rata keseluruhan adalah 0,28 untuk data yang sudah dikoreksi dan 0,29 untuk data yang belum dikoreksi (Tabel 4). Hal tersebut menunjukkan bahwa hanya sekitar 28-29% *false alarm* yang terjadi pada data model dibandingkan dengan data observasi. Kejadian *false alarm* terkecil terjadi di Bandung dan Yogyakarta, nilai FAR hanya berkisar 21-22%.

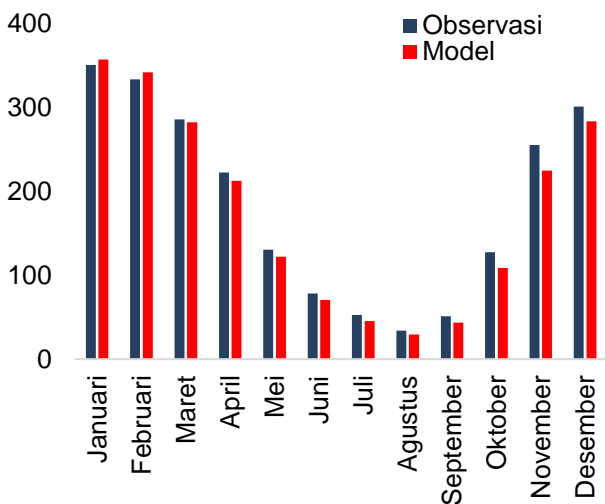
Berdasarkan hasil analisis terhadap performa model melalui perhitungan nilai RMSE, koefisien korelasi Pearson, POD, dan FAR, dapat disimpulkan bahwa data model yang sudah dikoreksi terbukti mampu lebih baik dalam memprakirakan kejadian hujan di Pulau Jawa. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, analisis proyeksi iklim lebih lanjut dapat menggunakan data luaran model CCAM yang sudah dikoreksi dengan metode *linear scaling* sebelumnya.

**Tabel 4.** Nilai RMSE, koefisien korelasi Pearson ( $r$ ), POD, dan FAR antara data model dan observasi di 5 lokasi di Pulau Jawa.

Lokasi	RMSE		$r$		PDO		FAR	
	Sebelum Koreksi	Setelah Koreksi	Sebelum Koreksi	Setelah Koreksi	Sebelum Koreksi	Setelah Koreksi	Sebelum Koreksi	Setelah Koreksi
Jakarta	4,21	3,26	4,21	3,26	0,92	0,94	0,39	0,39
Bandung	4,52	4,21	4,52	4,21	0,80	0,80	0,20	0,21
Semarang	4,20	4,35	4,20	4,35	0,92	0,89	0,27	0,27
Surabaya	3,39	3,34	3,39	3,34	0,94	0,96	0,37	0,31
Yogyakarta	3,96	3,88	3,96	3,88	0,76	0,81	0,21	0,22

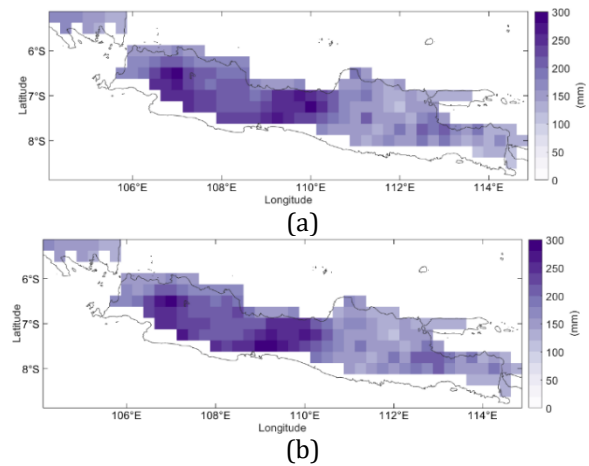
### 3.2. Analisis Variasi Musiman dan Distribusi Spasial Klimatologi dan Proyeksi Curah Hujan Bulanan di Pulau Jawa

Berdasarkan Gambar 1, yang menunjukkan klimatologi curah hujan bulanan dari rata-rata grid satu Pulau Jawa antara data model yang sudah dikoreksi (selanjutnya akan disebut data model) dan data observasi SA-OBS SACAD pada periode tahun 1991-2017, terlihat bahwa data observasi dan data model memiliki nilai dan pola variasi musiman yang hampir serupa. Meskipun demikian, data model pada bulan Januari dan Februari terlihat *overestimate* dibandingkan dengan data observasi, sedangkan sebaliknya terjadi pada bulan Maret sampai dengan Desember. Kedua data menunjukkan bahwa Pulau Jawa cenderung memiliki pola curah hujan musonal yang mana curah hujan maksimum terjadi di musim barat pada bulan Desember-Februari dan curah hujan minimum terjadi di musim timur pada bulan Juni-Agustus (Aldrian dan Susanto, 2003).



Gambar 1. Komposit Curah Hujan Bulanan Data Observasi dan CCAM Tahun 1991-2017

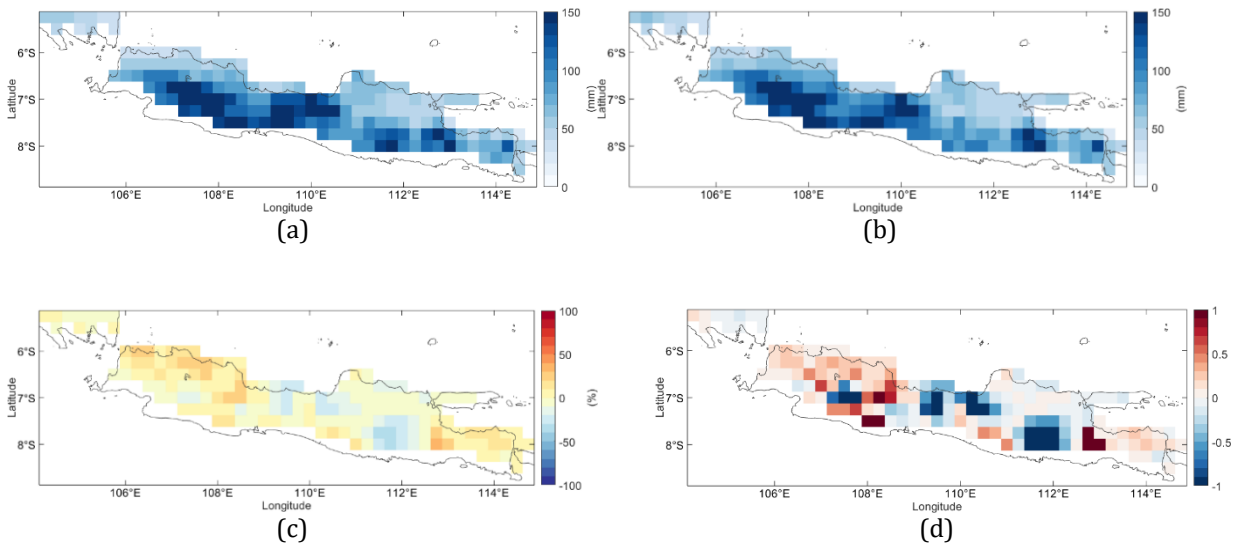
Berdasarkan Gambar 2 yang menyajikan distribusi spasial nilai rata-rata curah hujan bulanan pada periode historis (1991-2020) dan periode proyeksi dengan skenario RCP 4.5 (2021-2050), terlihat bahwa mayoritas daerah Pulau Jawa memiliki nilai curah hujan bulanan sekitar 150-300 mm. Daerah pesisir selatan Jawa Barat dan Yogyakarta terlihat memiliki curah hujan tertinggi dibandingkan dengan wilayah lainnya. Dengan menggunakan skenario RCP 4.5, hasil luaran model CCAM memproyeksikan akan terjadi peningkatan curah hujan di daerah pesisir Jawa Barat menuju Jawa Tengah dengan rentang nilai sekitar 10,8-23,8 mm. Peningkatan curah hujan juga terjadi di daerah daratan Jawa Timur, dengan nilai curah hujan sekitar 15,1-22,4 mm (Gambar 2b). Secara keseluruhan, didapatkan bahwa Pulau Jawa mengalami kenaikan curah hujan bulanan, meskipun nilainya tidak signifikan dan hanya sekitar 1,7-5,3 mm.



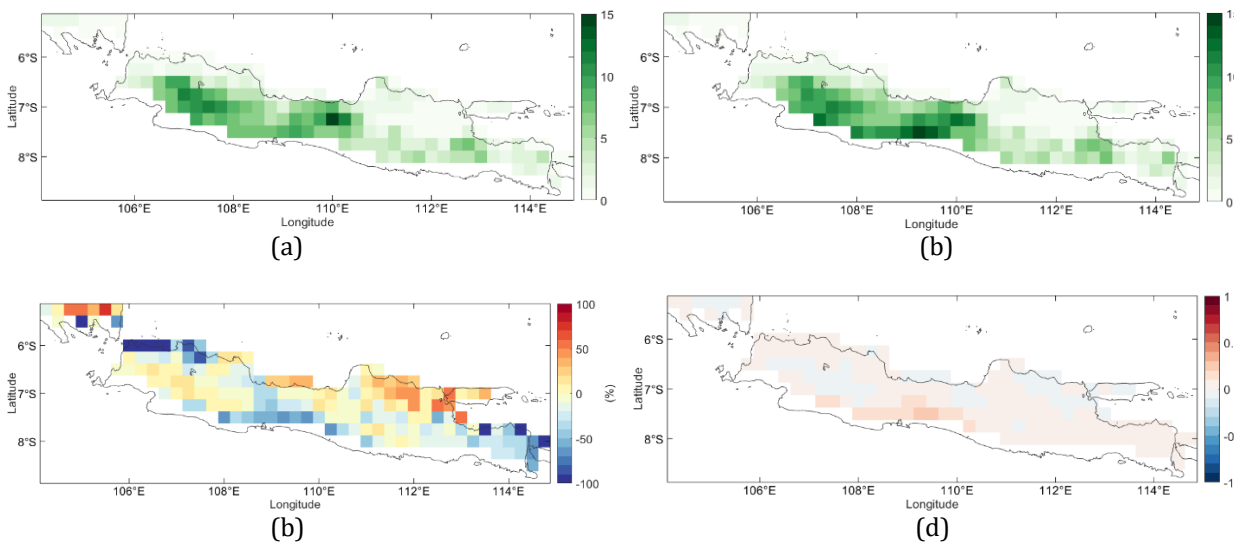
Gambar 2 Nilai rata-rata curah hujan bulanan pada periode (a) 1991-2020 (b) 2021-2050

Peningkatan nilai rata-rata curah hujan bulanan ternyata tidak cukup berdampak pada nilai curah hujan maksimum harian dalam satu tahun (RX1day). Hal tersebut terlihat pada Gambar 3, yang menunjukkan nilai RX1day pada periode 1991-2020, nilai proyeksi RX1day pada periode 2021-2050, persentase perubahan nilai RX1day pada kedua periode waktu, dan tren perubahan nilai RX1day pada periode 2021-2050. Pada Gambar 3a, terlihat bahwa rata-rata Pulau Jawa memiliki curah hujan maksimum dalam satu hari (RX1day) sebesar 50-150 mm pada periode historis (1991-2020), dengan nilai tertinggi terdapat di daerah pesisir selatan Jawa Barat, pesisir Jawa Timur, dan daratan Jawa Tengah. Meskipun demikian, peningkatan nilai rata-rata curah hujan bulanan pada periode proyeksi (2021-2050) tidak disertai dengan meningkatnya nilai RX1day pada beberapa wilayah di Pulau Jawa. Di sisi lain, pada Gambar 3b yang menunjukkan nilai RX1day di Pulau Jawa pada periode 2021-2050, terlihat bahwa di beberapa daerah terjadi penurunan nilai RX1day, dengan penurunan tertinggi terjadi di pesisir selatan antara Jawa Tengah dan Jawa Timur. Hal tersebut didukung pula oleh analisis pada Gambar 3c yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai RX1day di wilayah tersebut sebesar 6,2-15,4 %. Sementara wilayah DKI Jakarta diproyeksikan akan mengalami peningkatan nilai rata-rata curah hujan harian dalam satu hari pada periode 2021-2050 senilai 0,1-6,6%. Sejalan dengan perhitungan tren nilai RX1day yang ditunjukkan pada Gambar 3d, terlihat bahwa pesisir pantai selatan Jawa Timur diproyeksikan mengalami penurunan nilai curah hujan harian maksimum sampai dengan tahun 2050, sedangkan daerah daratan Jawa Barat diproyeksikan akan terus mengalami peningkatan nilai RX1day.

Nilai curah hujan maksimum harian yang terlalu besar merupakan indikasi terjadinya cuaca ekstrem. Berdasarkan pembagian kategori hujan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), suatu daerah dikategorikan mengalami curah hujan ekstrem jika curah hujan di daerah tersebut pada satu waktu mencapai lebih dari 150 mm (BMKG, 2023).



**Gambar 3.** (a) Nilai RX1day pada periode 1991-2020, (b) Nilai RX1day pada periode 2021-2050, (c) Persentase perubahan nilai RX1day pada periode 2021-2050 dibandingkan dengan 1991-2020, (d) Slope/ kemiringan trend perubahan nilai RX1day pada periode 2021-2050.



**Gambar 4.** (a) Nilai R50mm pada periode 1991-2020, (b) Nilai R50mm pada periode 2021-2050, (c) Persentase perubahan nilai R50mm pada periode 2021-2050 dibandingkan dengan 1991-2020, (b) Slope/kemiringan trend perubahan nilai R50mm pada periode 2021-2050

Dengan demikian, berdasarkan pada analisis proyeksi curah hujan di atas, nilai curah hujan maksimum yang tergolong curah hujan ekstrem (melebihi 150 mm) mungkin akan berkurang di daerah pesisir selatan Jawa Timur, sedangkan curah hujan yang lebih lebat dari 150 mm mungkin akan lebih sering terjadi di Jawa Barat dan DKI Jakarta pada tahun 2021-2050.

Analisis frekuensi kejadian ekstrem berdasarkan pada rata-rata jumlah hari dalam setahun yang mengalami curah hujan melebihi 50 mm (R50mm) disajikan pada Gambar 4. Pada Gambar 4a, yang menunjukkan rata-rata nilai R50mm pada periode historis (1991-2020), terlihat bahwa daerah Jawa Barat dan Jawa Tengah memiliki rata-rata jumlah hari R50mm yang paling tinggi dibandingkan dengan daerah lain, dengan R50mm berkisar pada 10-15 hari

dalam satu tahun. Selanjutnya, berdasarkan pada hasil luaran model yang ditunjukkan oleh Gambar 4b, terlihat bahwa sebagian besar wilayah di Pulau Jawa diproyeksikan akan mengalami peningkatan nilai R50mm, yang berarti bahwa akan mengalami hari-hari hujan lebat (melebihi 50mm) yang lebih sering. Peningkatan nilai R50mm terjadi di hampir seluruh wilayah di Jawa pada periode proyeksi dibandingkan dengan periode historis dengan presentase sekitar 15,9-52,7% (Gambar 4c). Hal ini juga didukung oleh Gambar 4d yang menunjukkan tren nilai R50mm pada periode proyeksi yang cenderung positif di semua wilayah Pulau Jawa. Dengan demikian, didapatkan bahwa hampir seluruh wilayah di Pulau Jawa akan lebih sering mengalami hujan lebat pada periode tahun 2021-2050 mendatang dibandingkan dengan periode tahun 1991-2020.

#### 4. Kesimpulan

Hasil luaran Model CCAM yang terkoreksi memiliki performa yang lebih baik untuk memproyeksikan curah hujan di Pulau Jawa hingga tahun 2050. Hal tersebut berdasarkan pada hasil perhitungan nilai RMSE, koefisien korelasi Pearson, POD, dan FAR hasil luaran model CCAM yang telah dikoreksi terlihat cukup mampu dalam menggambarkan kondisi curah hujan yang sebenarnya di Pulau Jawa. Pulau Jawa diproyeksikan akan mengalami peningkatan curah hujan bulanan pada periode tahun 2021-2050 (periode proyeksi) dibandingkan dengan periode tahun 1991-2020 (periode historis). Sebagian besar wilayah di Pulau Jawa mengalami kenaikan curah hujan bulanan meskipun nilainya tidak signifikan dan hanya sekitar 1,7-5,3 mm, dengan peningkatan tertinggi terjadi di daratan Jawa Timur dengan nilai mencapai 15,1-22,4 mm.

Peningkatan nilai rata-rata curah hujan bulanan ternyata tidak cukup berdampak pada nilai curah hujan maksimum harian dalam satu tahun (RX1day). Beberapa daerah diproyeksikan akan mengalami penurunan nilai RX1day, dengan penurunan tertinggi terjadi di wilayah selatan perbatasan antara Jawa Tengah dan Jawa Timur dengan nilai mencapai 6,2-15,4 %. Namun demikian, wilayah DKI Jakarta diproyeksikan akan mengalami peningkatan nilai RX1day pada periode 2021-2050 sebesar 0,1-6,6%. Selanjutnya, peningkatan nilai R50mm terjadi di hampir seluruh wilayah Pulau Jawa pada periode proyeksi dibandingkan dengan periode historis, dengan presentase sekitar 15,9-52,7%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ackerley, D. dan Dommengot, D. (2016). Atmosphere-only GCM (ACCESS1.0) simulations with prescribed land surface temperatures. *Geosci. Model Dev.*, 9, 2077-2098, 2016. doi:10.5194/gmd-9-2077-2016.
- Aldrian E and Susanto RD. (2003). Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *International Journal of Climatology* 23 (12): 1435-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.950>.
- Barnston, A. G. (1992). "Correspondence among the Correlation, RMSE, and Heidke Forecast Verification Measures; Refinement of the Heidke Score." *Weather and Forecasting* 7 (4): 699-709. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1992\)007<0699:CATCRA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1992)007<0699:CATCRA>2.0.CO;2).
- Carter, T.R., M. Hulme, and M. Lal. 1999. Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Donat, M.G., Alexander, L.V., Yang, H., et al., 2013a. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: the HadEX2 dataset. *J. Geophys. Res.: Atmosphere* 118, 2098e2118. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50150>.
- Gariano, S.L. and Guzzetti, F. (2016). Landslides in a Changing Climate. *Earth Science Reviews*, 162, 227-252. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- [https://www.bmkg.go.id/cuaca/probabilistik-curah-hujan.bmkg#:~:text=100%20%E2%80%93%20150%20mm%20\(hari%20\(ungu\)%20%3A%20Hujan%20ekstrem diakses tanggal 11 Februari 2023](https://www.bmkg.go.id/cuaca/probabilistik-curah-hujan.bmkg#:~:text=100%20%E2%80%93%20150%20mm%20(hari%20(ungu)%20%3A%20Hujan%20ekstrem diakses tanggal 11 Februari 2023).
- Kirch, W. (2008). Pearson's Correlation Coefficient. In: Kirch, W. (eds) *Encyclopedia of Public Health*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5614-7\\_2569](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5614-7_2569).
- McGregor, J. L. (2005). CCAM: Geometric Aspects and Dynamical Formulation, CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No.70, CSIRO, Australia.
- Mcgregor, John L., and Martin R. Dix. (2001). "The CSIRO Conformal-Cubic Atmospheric GCM." In, 197-202. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0792-4\\_25](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0792-4_25).
- Measey, M. (2010). Indonesia: A Vulnerable Country in the Face of Climate Change. *Global Majority E-Journal*, 31-45.
- Riahi K, Rao S, Krey V, Cho C, Chirkov V, Fischer G, Kindermann G, Nakicenovic N, Rafaj P. (2011). RCP 8.5 - A Scenario of Comparatively High Greenhouse Gas Emissions. *Climatic Change* 109, 33(2011). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>.
- Rockel, B., Will, A., Hense, A. (2008). The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). *Meteorologische Zeitschrift* Vol. 17 No. 4 (2008), p. 347 - 348. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0309>.
- Van den Besselaar EJM, Schrier G, Cornes RC, Iqbal AS, and Tank AMGK. (2017). SA-OBS: A Daily Gridded Surface Temperature and Precipitation Dataset for Southeast Asia. *Journal of Climate* 30 (14): 5151-65.
- Van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt GC. (2011b). The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change* 109 (1): 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.