

# KOREKSI BIAS CURAH HUJAN DARI LUARAN MODEL IKLIM REGIONAL CCAM DI PULAU JAWA

<sup>1</sup>Fenny Kartika– <sup>1</sup>Muhammad Rais Abdillah– <sup>2</sup>Amalia Nurlatifah

<sup>1</sup>Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi  
Kebumihan Institut Teknologi Bandung

<sup>2</sup>Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi  
Nasional

## ABSTRAK

Saat ini iklim telah mengalami banyak perubahan terutama pada wilayah tropis seperti Pulau Jawa. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) telah melakukan *downscaling* model *Conformal Cubic Atmospheric Model* (CCAM) kedalam bentuk model iklim regional, namun data model luaran iklim regional CCAM saat ini masih memiliki bias yang belum dikoreksi. Supaya dapat diaplikasikan untuk analisis perubahan iklim dan hidrologi diperlukan data dengan kualitas yang andal, oleh karena itu perlu dilakukan koreksi bias curah hujan model iklim regional CCAM. Terdapat banyak metode untuk koreksi namun masih belum diketahui kualitas atau performa dari metode koreksi tersebut. Sehingga pada penelitian digunakan tiga metode koreksi (*Linear Scaling*, *Quantile Mapping* dan *Local Intensity Scaling*) untuk dibandingkan metode yang paling baik dan cocok dalam mengoreksi sifat statistik curah hujan di wilayah Pulau Jawa yang diperoleh dari simulasi model CCAM. Hasil penelitian menunjukkan curah hujan model CCAM sangat bias terhadap data observasi. Koreksi curah hujan dapat meningkatkan model CCAM mendekati nilai observasi dibuktikan dengan peningkatan rata-rata dan korelasi, dan penurunan nilai RMSE untuk ketiga metode. Curah hujan setelah dikoreksi mampu lebih akurat dalam mendeteksi curah hujan dengan ambang batas 0,5 mm dan curah hujan ekstrim ambang batas persentil 90 dengan nilai POD mendekati 1. Metode *Quantile mapping* memiliki performa terbaik untuk seluruh evaluasi statistik umum dan verifikasi dikotomi sedangkan metode *Local Intensity Scaling* menunjukkan hasil yang kurang baik hampir di seluruh evaluasi statistiknya.

**Kata kunci:** CCAM, Curah hujan, Koreksi bias, *Linear scaling*, *Local intensity scaling*, SA-OBS, *Quantile mapping*

## 1. Pendahuluan

Saat ini iklim telah mengalami banyak perubahan. Menurut *International Panel Climate Change* (IPCC) tahun 2021 kejadian cuaca ekstrem dalam sepuluh tahun terakhir cenderung meningkatkan frekuensi dan intensitas. Kondisi cuaca ekstrem sering diperburuk oleh perubahan iklim. Wilayah tropis seperti Pulau Jawa akan sangat terpengaruh dengan adanya dampak perubahan iklim. Seiring dengan meningkatnya sektor industri dan pertumbuhan penduduk di Pulau Jawa, hal tersebut berpotensi menimbulkan dampak kepada lingkungan.

Adaptasi dan mitigasi perubahan iklim dapat meminimalisir kerugian dan kerusakan yang diakibatkan perubahan iklim. Salah satu upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim adalah dengan studi pemodelan iklim. Model iklim regional digunakan karena dapat mensimulasikan proyeksi perubahan iklim pada skala regional dari proyeksi GCM (Jha dkk., 2004). Namun model iklim regional umumnya memiliki bias. Penelitian menunjukkan variabel iklim yang dikoreksi bias memiliki kinerja yang lebih baik daripada yang tidak dikoreksi dalam menganalisis kejadian ekstrim (Dosio dan Paruolo, 2012).

Terdapat berbagai metode untuk melakukan koreksi bias. Namun belum diketahui

performa/kualitas dari masing-masing metode tersebut. Selain itu metode koreksi pada model iklim di setiap wilayah dan pada peristiwa ekstrim dapat memberikan hasil yang berbeda. Penelitian ini akan menggunakan tiga metode koreksi bias untuk mengetahui metode mana yang berkinerja paling baik dalam mengurangi bias data model regional CCAM di pulau Jawa

## 2. Data dan Metode

### 2.1 Data

Penelitian ini menggunakan beberapa data, yaitu sebagai berikut:

1. Data Model Iklim Regional CCAM
2. Data Observasi *The Southeast Asian Climate Assessment and Dataset* (SACA&D)

### 2.2 Metode

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 2.2.1 Metode Koreksi Bias

Pada penelitian ini digunakan tiga metode koreksi bias pada data luaran model iklim CCAM (*Linear Scaling*, *Quantile Mapping*, dan *Local Intensity Scaling*) untuk dibandingkan dengan data observasi (SA-OBS) dan dilihat metode koreksi mana yang paling baik dalam mengoreksi sifat statistik curah hujan di Pulau Jawa.

##### 2.2.1.1 Metode Koreksi Bias *Linear Scaling*

Metode *Linear Scaling* (LS) bertujuan untuk mencocokkan rata-rata bulanan dari nilai yang dikoreksi dengan nilai yang diamati secara sempurna (Lenderink dkk., 2007). Metode ini beroperasi dengan nilai koreksi bulanan berdasarkan perbedaan antara data yang diamati dan mentah.

$$P_{cor,d} = P_{raw,d} \times \frac{\mu(P_{obs,d})}{\mu(P_{raw,d})} \quad \dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

$P_{cor,d}$  = curah hujan terkoreksi pada hari ke-d bulan bulan ke-m

$P_{raw,d}$  = curah hujan CCAM pada hari ke-d bulan ke-m.

$\mu P_{obs,d}$  = nilai rata-rata dari curah hujan yang diamati pada hari ke-d.

$\mu P_{raw,d}$  = nilai rata-rata dari curah hujan CCAM pada bulan ke-d.

#### 2.2.1.2 Metode Koreksi Bias *Quantile Mapping*

Metode Quantile Mapping (QM) adalah metode koreksi bias non-parametrik dan umumnya berlaku untuk semua kemungkinan distribusi curah hujan. Pendekatan ini berasal dari transformasi empiris (Themeßl dkk., 2012). Metode ini efektif memperbaiki bias dalam rata-rata, standar deviasi dan frekuensi hari basah serta kuantil. Penyesuaian curah hujan menggunakan QM dapat dinyatakan dalam bentuk *Empirical Cumulative Distribution Function* (ecdf) dan kebalikannya (ecdf<sup>-1</sup>):

$$P_{cor,d} = ecdf_{obs,d}^{-1}(ecdf_{raw,d}(P_{raw,d})) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

$P_{cor,d}$  = curah hujan terkoreksi pada hari ke-d

$P_{raw,d}$  = curah hujan luaran model CCAM pada hari ke-d

*ecdf* = *Empiris Cumulative Distribution Function*

#### 2.2.1.3 Metode Koreksi Bias *Local Intensity Scaling*

Metode Intensitas skala lokal dapat menyesuaikan rata-rata serta frekuensi dan intensitas hari basah dari deret waktu hujan. Dapat secara efektif memperbaiki data yang memiliki hari gerimis terlalu banyak atau hari dengan sedikit curah hujan (Schmidli dkk., 2006).

$$Sd = \frac{\mu(P_{obs}|P_{obs,d} > 0)}{\mu(P_{raw,d}|P_{raw,d} > P_{th,d}) - P_{th,d}} \quad \dots\dots(2.3)$$

Faktor koreksi yang dihitung digunakan untuk memastikan bahwa rata-rata curah hujan yang dikoreksi samadengan curah hujan yang diamati:

$$P_{cor,d} = \{_{(P_{raw,d}-P_{th,d}) \times Sd}^0 \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Jika,

$$P_{raw,d} < P_{th,d} \text{ (otherwise)} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

### 2.2.2 Metode Evaluasi

Evaluasi curah hujan adalah untuk mengukur korespondensi antara nilai luaran model dan observasi. Untuk evaluasi statistik curah hujan dari

observasi permukaan dan luaran model digunakan ambang batas hujan  $\geq 0,5$  mm penggunaan ambang batas ini disesuaikan berdasarkan yang ditetapkan oleh BMKG.

### 2.2.2.1 Metode Evaluasi Curah Hujan: Statistik Umum

Metode evaluasi umum diagnostik yang digunakan yaitu :

1. *Mean* (mm/hari) yaitu rata-rata curah hujan di semua hari.
2. Standar Deviasi digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel dan seberapa dekat ke rata-rata.
3. Koefisien korelasi ( $r$ ) digunakan untuk mengukur keakuratan antara data curah hujan luaran model dan pengamatan observasi.
4. *The Root Mean Square Error* (RMSE) (mm/hari) mengukur besarnya kesalahan rata-rata antara data curah hujan luaran model dan nilai observasi permukaan.

$$\text{Rata - rata} \quad \bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N S_i \quad (3.1)$$

$$\text{Standar Deviasi} \quad \bar{G} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N G_i$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.2)$$

$$\text{Korelasi} \quad r = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (3.3)$$

$$\text{RMSE} \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2} \quad (3.4)$$

### 2.2.2.2 Metode Evaluasi Curah Hujan: Verifikasi Dikotomi

Evaluasi Verifikasi dikotomi digunakan untuk memantau kualitas proyeksi curah hujan CCAM akan seberapa akurat proyeksi curah hujan yang diperkirakan dan teramati dan untuk memberikan hasil proyeksi yang lebih baik (WCRP, 2017). Hasil proyeksi curah hujan dapat dikatakan baik ketika:

1. Konsistensi (Sejauh mana proyeksi sesuai dengan penilaian berdasarkan basis pengetahuan).
2. Kualitas (Sejauh mana proyeksi sesuai dengan yang sebenarnya terjadi pada Observasi).
3. Nilai (sejauh mana proyeksi dapat membantu dalam pengambilan keputusan untuk merealisasikan beberapa manfaat).

Digunakan dua statistik verifikasi probability of detection (POD) dan False Alarm Ratio (FAR). Probability of detection (POD) merupakan hasil perbandingan antara proyeksi curah hujan (CCAM) dan pengamatan yang terjadi (hits) terhadap jumlah memprediksi terjadinya curah hujan dengan ambang batas 0,5 mm dan curah hujan ekstrem dengan ambang batas persentil 90. FAR mewakili peristiwa yang didiagnosis yang ternyata salah pengamatan yang terjadi curah hujan, sehingga POD dapat menjelaskan kesuksesan performa model dalam.

Tabel 2.1 Tabel kontingensi

Curah Hujan CCAM	Curah Hujan Observasi	
	<i>Yes</i>	<i>No</i>
<i>Yes</i>	<i>Hits</i>	<i>Misses</i>
<i>No</i>	<i>False Alarm</i>	<i>Correct Negative</i>

“*Hits*” mewakili perkiraan peristiwa hujan dengan benar, “*Misses*” menggambarkan ketika hujan tidak diperkirakan tetapi hujan yang sebenarnya terjadi, “*False Alarm*” mewakili ketika hujan diperkirakan tetapi hujan yang sebenarnya tidak terjadi, dan “*Correct Negative*” mewakili perkiraan dan obeservasi tidak terjadi hujan. Menggunakan hasil yang ditunjukkan pada tabel kontingensi, parameter POD dan FAR dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{FAR} = \frac{\text{False Alarm}}{\text{Hits} + \text{False Alarm}} \quad \dots\dots(3.5)$$

$$\text{POD} = \frac{\text{Hits}}{\text{Hits} + \text{Misses}} \quad \dots\dots(3.6)$$

POD dan FAR menawarkan cara berbeda dalam melihat kemampuan pendeteksian hujan dari proyeksi curah hujan model CCAM. POD menilai seberapa baik proyeksi curah hujan model CCAM dalam mendeteksi terjadinya curah hujan. Nilai POD berkisar antara 0 sampai 1, dengan 1 menunjukkan nilai sempurna. FAR menunjukkan seberapa sering produk proyeksi curah hujan model CCAM mendeteksi curah hujan ketika pengukuran

pengukur hujan adalah nol.

Persentil 90 diperkirakan secara empiris digunakan untuk mengukur curah hujan ekstrem. Peristiwa hujan ekstrem didefinisikan sebagai total harian melebihi rata-rata. Ambang persentil ini dihitung dari sampel semua hari pada periode waktu yang dianalisis. Persentil dipilih sebagai pengganti ambang batas mutlak karena lebih mudah dibandingkan (Groisman dkk., 2005). Secara tradisional, produk curah hujan grid dibandingkan menggunakan metode verifikasi deterministik, yang didasarkan pada pencocokan *point-by-point* sederhana (spasial dan temporal).

Untuk menilai antara terjadinya peristiwa curah hujan (ambang batas 0,5 mm) dan curah hujan ekstrem (persentil 90) yang terlihat oleh luaran model dan berbasis observasi, masing-masing tingkat curah hujan diubah menjadi indikator-indikator kejadian (ya-tidak) dan biner (menggunakan ambang curah hujan yang telah ditentukan). Pasangan *grid* indikator yang cocok kemudian dihitung untuk menyelesaikan tabel kontingensi standar (Wilks, 2006).

Nilai POD dan FAR dihitung berdasarkan seri waktu observasi dan luaran model untuk setiap kotak-kotak sebagai berikut:

1. POD di atas ambang persentil tertentu untuk curah hujan 0,5 mm dan curah hujan ekstrem persentil 90. POD sama dengan rasio jumlah kejadian hujan yang terdeteksi dengan benar yang melebihi ambang batas yang diberikan. POD berkisar antara 0 sampai 1, dengan 1 menunjukkan nilai sempurna. Ambang batas dihitung secara terpisah untuk masing-masing set data (Ebert dan McBride, 2000).
2. FAR di atas ambang persentil tertentu untuk curah hujan 0,5 mm dan curah hujan ekstrem persentil 90. FAR sama dengan rasio jumlah kejadian curah hujan yang salah diindikasikan melebihi ambang batas yang diberikan untuk jumlah total kejadian yang benar dan salah di atas ambang yang sama. FAR berkisar antara 0 sampai 1, dengan 0 menunjukkan skor sempurna (Ebert dan McBride, 2000).

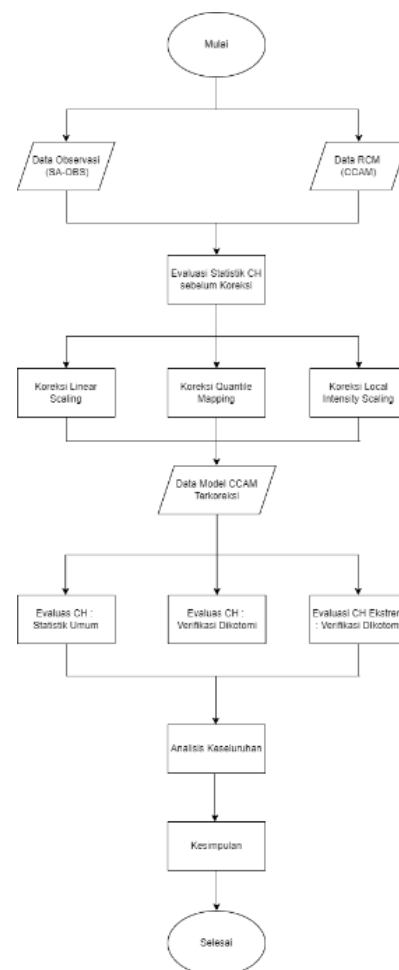
### 2.2.3 Menghitung Efektivitas Mendeteksi Curah Hujan terhadap Ketinggian permukaan

Efektivitas curah hujan ekstrem terhadap ketinggian

dapat dihitung dengan nilai *Probability of Detection* (POD) dengan ambang batas persentil 90 setelah dikoreksi dan sebelum dikoreksi. Efektivitas dihitung untuk memperlihatkan model CCAM terkoreksi memiliki performa yang baik dalam mendeteksi curah hujan ekstrem di ketinggian tertentu. Setelah curah hujan dengan persentil 90 didapat dihitung POD untuk masing-masing metode koreksi dan di hitung efektivitas sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas} = \frac{\text{POD metode koreksi} - \text{POD rawCCAM}}{\text{POD metode koreksi}} \quad \text{..(3.7)}$$

Berikut diagram alir penelitian yang digunakan:



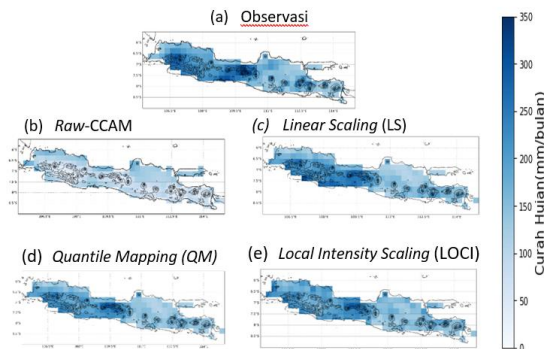
Gambar 1 Diagram alir penelitian

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Klimatologi Curah Hujan Sebelum dan Setekah Koreksi

Pada subbab ini akan dibahas tentang curah hujan wilayah kajian pada periode validasi tahun 2001-2005 sebelum dan setelah dikoreksi. Rata-rata

curah hujan observasi diseluruh grid 192,40 mm/bulan berbeda jauh dengan rata-rata intensitas curah hujan sebelum dikoreksi yang sangat rendah dengan rata-rata 102,64 mm/bulan, sehingga terlihat model CCAM memiliki bias yang cukup besar.



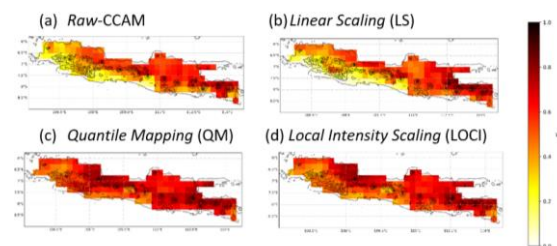
Gambar 3.1 Rata-rata intensitas curah hujan bulanan sebelum dan setelah koreksi pada periode validasi 2001-2005 untuk (a) Observasi, (b) *Raw-CCAM*, (c) *Linear Scaling* (LS), (d) *Quantile Mapping* (QM), dan (e) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Setelah di koreksi terlihat pada Gambar 3.1 (c), (d), dan (e), rata-rata intensitas curah hujan metode *Linear Scaling* 167,01 mm/bulan, metode *Quantile Mapping* rata-rata intensitas curah hujan 171,65 mm/bulan dan Metode *Local Intensity Scaling* rata-rata intensitas curah hujan 118,18 mm/bulan. Sebaran intensitas curah hujan pada Gambar 3.1 (a), (c), dan (d) menunjukkan pada mayoritas wilayah Pulau Jawa bagian barat memiliki intensitas curah hujan lebih tinggi dibanding wilayah tengah dan timur. Tempat-tempat yang curah hujannya tinggi adalah terletak pada lereng gunung yang menghadap ke barat dengan ketinggian tertentu, misalnya di gunung Tangkuban Perahu dan gunung Dieng.

Pada ketiga metode memiliki intensitas curah hujan yang meningkat di semua metode dengan sebaran curah hujan menyerupai sebaran rata-rata observasi hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Fang tahun 2015. Selain itu ketiga metode koreksi me-underestimate data observasi dan terlihat bahwa jumlah rata-rata curah hujan setelah di koreksi tertinggi dan paling mendekati nilai-rata observasi dan memiliki rata-rata korelasi tertinggi disemua grid adalah yaitu metode *Quantile Mapping* Gambar 3.1 (d).

### 3.2 Evaluasi curah hujan setelah koreksi (Statistik umum)

Evaluasi curah hujan model CCAM terhadap observasi dilakukan untuk melihat kondisi awal sebelum dan setelah dikoreksi. Sehingga evaluasi dapat menunjukkan seberapa baik metode *Linear Scaling*, *Quantile Mapping* dan *Local Intensity Scaling* digunakan, yang dihitung pada periode validasi 2001-2005 (5 tahun) menggunakan statistik umum korelasi dan RMSE, dan verifikasi dikotomi yaitu *Probability of Detection* (POD) dan *False Alarm Ratio* (FAR).



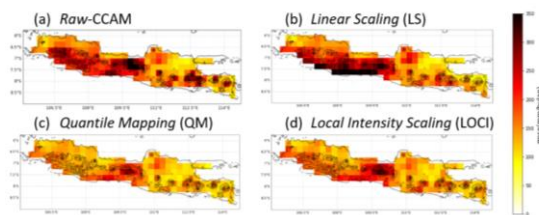
Gambar 3.2 Evaluasi statistik umum: korelasi, sebelum dan setelah koreksi pada periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Korelasi digunakan untuk melihat hubungan antar dua data. Sebelum dikoreksi nilai korelasi pada Gambar 3.2 (a) menunjukkan korelasi yang cukup tinggi di utara dan timur, dan rendah di barat dan selatan Pulau Jawa, rata-rata korelasi dengan data observasi diseluruh grid 0,54. Setelah dikoreksi terlihat pada metode *Linear Scaling* Gambar 3.2 (b) menunjukkan korelasi yang hampir serupa dengan sebelum dikoreksi tidak ada peningkatan yang signifikan dengan rata-rata korelasi di seluruh grid 0,61, terlihat pada selatan Pulau Jawa yang korelasinya rendah. Metode *Quantile Mapping* dan *Local Intensity Scaling* Gambar 3.2 (c) dan (d) korelasinya meningkat di sekitar barat pulau Jawa ( $r = 0,58$  s.d 0,95).

Metode *Quantile Mapping* menunjukkan korelasi yang sangat baik pada wilayah dataran tinggi dilihat pada nilai korelasinya yang tinggi dengan rata-rata diseluruh grid korelasi 0,78 menunjukkan model CCAM mampu mendeteksi curah hujan dengan baik pada wilayah dataran tinggi. Dari ketiga metode sebaran korelasinya terbaik ditunjukkan oleh metode *Quantile Mapping* pada Gambar 3.2 (c) karena hampir seluruh sebaran korelasinya

mendekati nilai 1 (sempurna).

Statistik Korelasi dan RMSE dihitung untuk melihat keakuratan dan kesalahan dari luaran model CCAM. Gambar 3.3 menunjukkan plot spasial RMSE curah hujan di seluruh pulau Jawa. RMSE digunakan untuk melihat error dari suatu data, nilai RMSE antara curah hujan CCAM dan curah hujan observasi jika semakin kecil maka semakin sedikit kesalahan model CCAM mendeteksi curah hujan sehingga curah hujan CCAM akan semakin akurat.



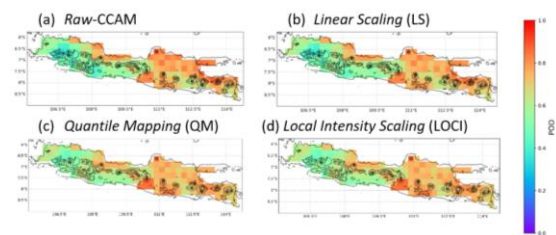
Gambar 3.3 Evaluasi statistik umum: RMSE, sebelum dan setelah koreksi pada periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Gambar 3.3 (a) menunjukkan sebaran nilai RMSE sebelum dikoreksi didapatkan nilai RMSE terendah ada di timur dan utara Pulau Jawa sedangkan di barat dan selatan terutama di wilayah dataran tinggi kesalahannya semakin besar (RMSE = 100 - 350 mm). Hal ini sejalan dengan penelitian Smitha tahun 2018 mengenai metode *Linear Scaling* saat menghitung error.

Setelah dikoreksi pada ketiga metode nilai RMSE menunjukkan adanya penurunan dan kenaikan di beberapa wilayah tertentu. Pada metode *Linear Scaling* menunjukkan peningkatan nilai RMSE yang tinggi (RMSE = 200 - 350 mm) di wilayah barat. Sedangkan pada metode *Quantile Mapping* gambar 3.3 (c) RMSE memiliki hasil yang rendah hampir di seluruh wilayah pulau Jawa (RMSE = 25 - 180 mm). Metode *Local Intensity Scaling* 3.3 (d) memiliki nilai RMSE cenderung menurun dibanding sebelum koreksi namun di beberapa wilayah tertentu nilai kesalahannya masih tinggi (RMSE = >250 mm). Dari ketiga metode koreksi didapat metode *Quantile Mapping* memiliki nilai RMSE terbaik dalam sebaran spasialnya.

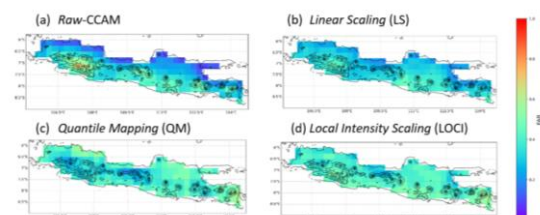
### 3.3 Evaluasi Curah Hujan Setelah Koreksi: Verifikasi Dikotomi

Verifikasi dikotomi dihitung untuk melihat kualitas proyeksi curah hujan CCAM akan seberapa akurat proyeksi curah hujan yang diperkirakan dan teramati dan untuk memberikan hasil proyeksi yang lebih baik. POD dihitung sebelumnya sesuai tabel kontingensi dengan ambang batas curah hujan yang digunakan 0,5 mm. Hasil POD pada penelitian mendapatkan hasil yang hampir mendekati 1 ketika sebelum dan setelah dikoreksi pada Gambar 3.4, menunjukkan bahwa seluruh data model CCAM mampu mendeteksi kejadian hujan terutama di wilayah utara dan timur Pulau Jawa.



Gambar 3.4 Evaluasi curah hujan: verifikasi dikotomi (*Probability of Detection*) sebelum dan setelah koreksi dengan ambang batas 0,5 mm pada periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Rata-rata nilai POD sebelum dikoreksi untuk seluruh grid yaitu 0,72 dan setelah dikoreksi nilai POD meningkat ketiga metode. Metode *Linear scaling* rata-rata seluruh grid-nya 0,752 ditunjukkan pada Gambar 3.4 (b), *Quantile Mapping* rata-rata seluruh grid-nya 0,776 ditunjukkan pada Gambar 3.4 (c), dan Metode *Local Intensity Scaling* ditunjukkan pada gambar rata-rata seluruh gridnya 0,759. Nilai POD berkisar antara 0,4 - 0,6 di wilayah barat Pulau Jawa atau di dataran tinggi yang menunjukkan pada wilayah barat ketika sebelum dan setelah dikoreksi kurang mampu mendeteksi kejadian hujan.



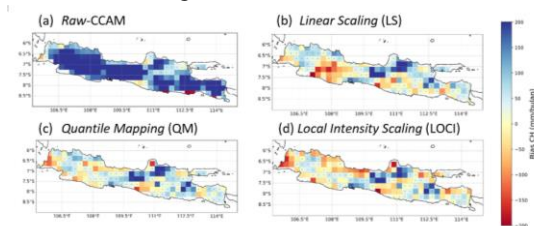


Gambar 3.5 Evaluasi curah hujan: verifikasi dikotomi (*False Alarm Ratio*) sebelum dan setelah koreksi dengan ambang batas 0,5 mm pada periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Untuk FAR pada Gambar 3.5 menunjukkan bahwa semakin rendah FAR, semakin tinggi akurasi model CCAM yang berarti semakin sedikit kemungkinan untuk mendeteksi kejadian curah hujan yang salah. Nilai FAR sebelum koreksi Gambar 4.5 (a) menunjukkan nilai FAR mendekati nol di utara Pulau Jawa dengan rata-rata diseluruh grid 0,308 dan setelah dikoreksi menggunakan ketiga metode perbedaannya tidak terlalu terlihat signifikan cenderung meningkat bervariasi di seluruh wilayah. Selanjutnya ketika dirata-ratakan di seluruh grid nilai FAR terendah berada pada metode *Linear Scaling* Gambar 3.5 (b) dengan rata-rata 0,309, untuk metode *Quantile Mapping* rata-ratanya 0,394 dan Metode *Local Intensity Scaling* 0,41. Hal ini memperlihatkan data model CCAM dengan ambang batas 0,5 mm masih banyak melakukan kesalahan dalam mendeteksi curah hujan.

### 3.4 Evaluasi Curah Hujan Ekstrem: Verifikasi Dikotomi (Bias, POD, dan FAR)

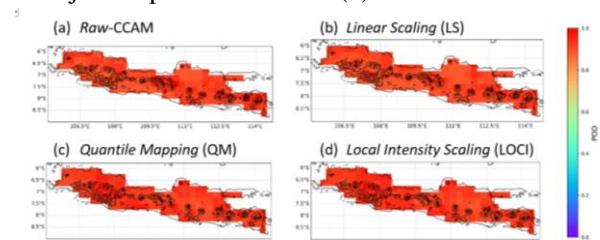
Evaluasi curah hujan ekstrem dilakukan pada periode validasi tahun 2001-2005 (5 tahun) dengan ambang batas hujan pada persentil 90 dan persentil 10 untuk ekstrem kering. Pada Gambar 3.6 diperoleh bias curah hujan persentil 90 sebelum dan setelah koreksi didapatkan sebelum koreksi Gambar 3.6 (a) memiliki nilai bias yang tinggi dan bervariasi (bias = 100 s.d 200 mm/bulan) dengan rata-rata diseluruh grid 165,89 mm/bulan, *Raw-CCAM* mampu mendeteksi curah hujan ekstrem namun cenderung *underestimate*.



Gambar 3.6 Bias curah hujan ekstrem ambang batas persentil 90 sebelum dan setelah koreksi pada periode

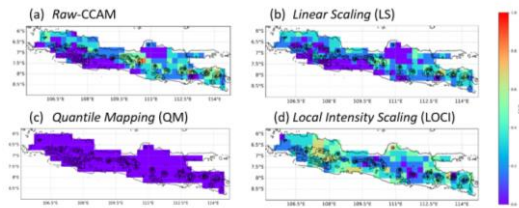
validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Bias memperlihatkan seberapa rendah kesalahan curah hujan CCAM mendeteksi curah hujan ekstrem. Tanda titik dalam grid merupakan tanda bias curah hujan ekstrem antara 0 s.d 100. Setelah koreksi Hasil menunjukkan bias yang bervariasi, ditandai ketika tanda titik pada terbanyak yaitu metode *Linear Scaling* yang berarti metode tersebut memiliki bias cukup rendah meskipun di wilayah dataran tinggi bias nya tinggi atau *overestimate*. Ketiga metode memperlihatkan bias yang menurun terutama di wilayah dataran tinggi. Rata-rata terendah diseluruh grid 21,09 mm/bulan oleh metode *Linear Scaling* ditunjukkan pada Gambar 3.6 (b) diikuti metode *Quantile Mapping* 20,64 mm/bulan ditunjukkan pada Gambar 3.6 (c) dan *Local Intensity Scaling* 21,33 mm/bulan ditunjukkan pada Gambar 3.6 (d).



Gambar 3.7 Evaluasi curah hujan ekstrem: verifikasi dikotomi (*Probability of Detection*) ambang batas persentil 90 sebelum dan setelah koreksi pada periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Hasil POD yang dihitung dengan ambang batas persentil 90 diperoleh hasil pada Gambar 3.7 menunjukkan hasil yang hampir sempurna yaitu mendekati 1 baik sebelum dan setelah koreksi. Sebelum dikoreksi nilai rata-rata diseluruh grid 0,89 lalu mengalami peningkatan dengan rata-rata metode *Linear Scaling* 0,90, Metode *Quantile Mapping* 0,93 dan *Local Intensity Scaling* 0,927. Hal ini menunjukkan bahwa model CCAM dengan ambang persentil 90 sebelum dan setelah koreksi mampu dengan tepat mendeteksi kejadian hujan ekstrem



Gambar 3.8 Evaluasi curah hujan ekstrem: verifikasi dikotomi (*False Alarm Ratio*) ambang batas persentil 90 sebelum dan setelah koreksi pada periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

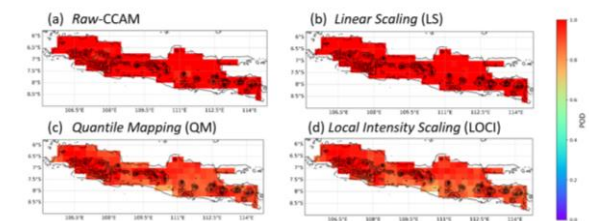
Hasil FAR yang dihitung dengan ambang batas persentil 90 diperoleh hasil pada Gambar 3.8. Pada Gambar 3.8 (a) menunjukkan hasil ketika sebelum di koreksi FAR mendekati nilai 0 di selatan Pulau Jawa dengan rata-rata di seluruh *grid* 0,17 dan setelah di koreksi oleh ketiga metode, Metode terbaik dengan sedikit mendeteksi curah hujan ekstrem yang salah adalah *Quantile Mapping* pada Gambar 4.8 (c) nilai nya diseluruh Pulau Jawa mendekati nilai nol, rata-rata di seluruh *grid* 0.09. Metode *Linear Scaling* pada Gambar 3.8 (b) sebaran nilai FAR nya tidak jauh berbeda dengan FAR sebelum dikoreksi dengan rata-rata diseluruh *grid* 0,15 dan metode koreksi *Local Intensity Scaling* Gambar 3.8 (d) nilai FAR tidak begitu baik dan bervariasi di seluruh Pulau Jawa dengan rata-rata di seluruh *grid* 0,37.

### 3.5 Evaluasi Curah Hujan Ekstrem Saat Musim Basah dan Kemarau

#### 3.5.1 Evaluasi Curah Hujan Ekstrem Setelah Koreksi Musim Basah (DJF)

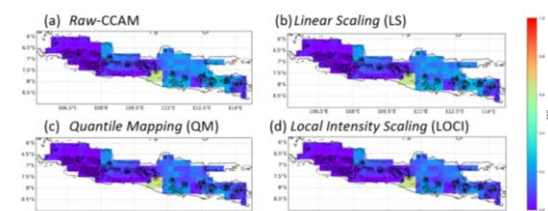
Kejadian iklim ekstrem di Indonesia umumnya terkait dengan fenomena yang mempengaruhi variabilitas iklim mulai dari skala intra-musiman (*intraseasonal*), antar-tahun (*interannual*), hingga antar-dasawarsa (*interdecadal*). Pada skala musiman Pulau Jawa dipengaruhi oleh monsun, yaitu monsun Asia dan Australia. Pada bulan-bulan Desember, Januari dan Februari (DJF) pergerakan semu matahari berada  $23.5^\circ$  di Belahan Bumi Selatan (BBS), sehingga bertiup angin dari Utara menuju Selatan yang lebih dikenal dengan Monsun Asia. Pada saat Monsun Asia berlangsung curah hujan di wilayah Pulau Jawa cenderung meningkat hingga  $>200$  mm. Gambar 3.9 menunjukkan nilai

*Probability of Detection* (POD) di seluruh *grid* pada saat musim basah Desember, Januari, dan Februari (DJF) selama periode validasi dengan ambang batas persentil 90. Hasilnya menunjukkan metode *Linear Scaling* memiliki nilai POD yang sangat baik mendekati 1 Diikuti oleh metode *Quantile Mapping* dan *Local Intensity Scaling*, hasil tersebut menunjukkan metode *Linear Scaling* mampu mendeteksi curah hujan ekstrem basah ketika di bulan DJF.



Gambar 3.9 Evaluasi curah hujan ekstrem: verifikasi dikotomi (*Probability of Detection*) ambang batas persentil 90 sebelum dan setelah koreksi pada musim basah (DJF) periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Hasil FAR yang dihitung pada bulan Desember, Januari dan Februari dengan ambang batas persentil 90 diperoleh hasil pada Gambar 3.10 yang menunjukkan sebaran nilai FAR sebelum dan setelah dikoreksi memiliki sebaran yang sama. Nilai rata-rata FAR yang mendekati nilai 0 berada di wilayah barat (Jakarta, Banten, Jawa Barat dan Sebagian Jawa Tengah) semakin ke timur nilainya bervariasi semakin besar. Nilai rata-rata FAR di seluruh *grid* yang paling rendah yaitu metode *Local Intensity Scaling* pada Gambar 3.10 (d) yaitu 0.097 dan paling tinggi metode *Linear Scaling*. Dalam hal ini ketiga metode terutama di wilayah barat Pulau Jawa mampu mendeteksi curah hujan ekstrem di bulan Desember, Januari dan Februari dengan baik.

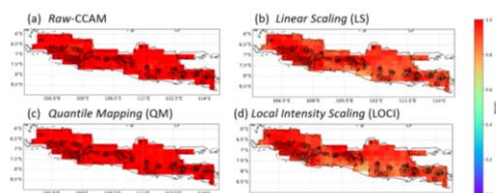


Gambar 3.10 Evaluasi curah hujan ekstrem: verifikasi dikotomi (*False Alarm Ratio*) ambang batas



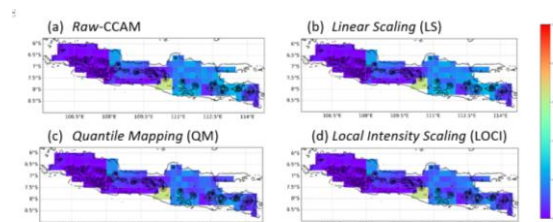
persentil 90 sebelum dan setelah koreksi pada musim basah (DJF) periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

### 3.5.2 Evaluasi Curah Hujan Ekstrem Setelah Koreksi Musim Basah (JJA)



Gambar 3.11 Evaluasi curah hujan ekstrem: verifikasi dikotomi (*Probability of Detection*) ambang batas persentil 90 sebelum dan setelah koreksi pada musim kemarau (JJA) periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

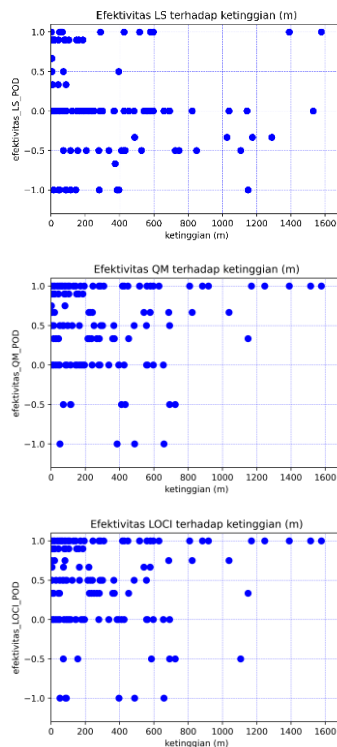
Pada bulan-bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA) terjadi pergerakan massa udara dari selatan menuju utara yang lebih dikenal dengan Monsun Australia. Saat bulan JJA berlangsung Pulau Jawa mengalami intensitas curah hujan rendah sekitar  $< 100$  mm/bulan. Gambar 3.11 merupakan nilai *Probability of Detection* (POD) di bulan JJA dengan persentil 10 yang dianggap dapat menunjukkan kejadian ekstrem kering. Hasil menunjukkan ketika sebelum dikoreksi nilainya sangat baik di seluruh wilayah sedangkan setelah dikoreksi semua metode koreksi menunjukkan sebaran nilai POD yang bervariasi mendekati nilai 1. Pada metode *Quantile Mapping* dengan rata-rata di seluruh grid 0,958 sebaran spasialnya menunjukkan hasil yang sangat baik. Sedangkan metode *Linear Scaling* dan *Local Intensity Scaling* memiliki sebaran nilai yang bervariasi  $> 0,8$  dengan nilai rata-rata metode *Linear Scaling* diseluruh grid 0,93 dan *Local Intensity Scaling* 0,928. Sehingga berdasarkan Gambar 3.11 model CCAM mampu mendeteksi kejadian curah hujan ekstrem di bulan JJA dengan baik.



Gambar 3.12 Evaluasi curah hujan ekstrem: verifikasi dikotomi (*False Alarm Ratio*) ambang batas persentil 90 sebelum dan setelah koreksi pada musim kemarau (JJA) periode validasi 2001-2005 untuk (a) *Raw-CCAM*, (b) *Linear Scaling* (LS), (c) *Quantile Mapping* (QM), dan (d) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Hasil FAR yang dihitung pada bulan Juni, Juli dan Agustus (JJA) dengan ambang batas persentil 10 diperoleh hasil pada Gambar 3.12 yang menunjukkan sebaran nilai FAR sebelum dan setelah dikoreksi bervariasi dengan sebaran yang sama. Pada gambar ditunjukkan nilai yang mendekati 0 berada di barat Pulau Jawa (Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat dan Sebagian Jawa Tengah) semakin ke wilayah timur nilainya bervariasi  $> 0,1$ . Untuk rata-rata diseluruh grid didapat nilai rata-rata terendah yaitu metode *Quantile Mapping* 0,096 pada Gambar 3.12 (c) diikuti metode *Local Intensity Scaling* pada Gambar 3.12 (d) 0,12 dan nilai rata-rata tertinggi metode *Linear Scaling* pada Gambar 3.12 (b) 0,15. Hal ini menunjukkan berdasarkan nilai FAR ketiga metode telah mampu mendeteksi kejadian curah hujan ekstrem kering dengan baik dan sedikit mendeteksi kejadian curah hujan yang salah terutama di Pulau Jawa bagian barat dan Sebagian Pulau Jawa bagian tengah.

### 3.6 Efektivitas Deteksi Curah Hujan Ekstrem Terhadap Ketinggian



Gambar 3.13 Plot *scatter* nilai efektivitas setiap metode koreksi terhadap ketinggian, (a) *Linear Scaling* (LS), (b) *Quantile Mapping* (QM), dan (c) *Local Intensity Scaling* (LOCI).

Gambar 3.13 menunjukkan hasil sebaran efektivitas dari setiap metode koreksi terhadap ketinggian permukaan bumi di Pulau Jawa. Nilai ini dibuat untuk melihat adakah setiap metode koreksi mampu mendeteksi curah hujan ekstrem dengan baik pada ketinggian tertentu. Setelah dihitung dan di plot didapat kemiripan hasil dari metode koreksi *Quantile Mapping* dengan *Local Intensity Scaling*. Gambar 3.13 (a), (b), dan (c) menunjukkan ketika di ketinggian 0-1600 m nilai efektivitasnya bervariasi dari -1 sampai 1, kecuali metode *Linear Scaling* yang nilainya bervariasi ke nilai negatif. Pada hasil tersebut menunjukkan efektivitas kejadian hujan pada ketiga metode koreksi memiliki hasil yang semakin tinggi ketika ketinggian permukaan bumi semakin tinggi dan nilainya semakin tidak efektif jika bernilai negatif.

### 3.7 Evaluasi rata-rata keseluruhan Sebelum dan Setelah Koreksi

Tabel 3.1 Evaluasi Rata-rata Keseluruhan Metode Koreksi

		Raw-CCAM	Linear Scaling	Quantile Mapping	Local Intensity Scaling
Curah Hujan	Bias	90,33 mm/bulan	25,39 mm/bulan	20,75 mm/bulan	74,22 mm/bulan
	R	0,54	0,61	0,78	0,74
	RMSE	89,13	31,95	26,70	36,27
	POD	0,72	0,752	0,776	0,759
	FAR	0,308	0,309	0,394	0,410
Curah Hujan Ekstrem (P90)	Bias	165,89 mm/bulan	21,09 mm/bulan	20,64 mm/bulan	21,33 mm/bulan
	POD	0,89	0,9	0,93	0,927
	FAR	0,17	0,15	0,09	0,37
Curah Hujan Ekstrem DJF (P90)	POD	0,992	0,997	0,951	0,928
	FAR	0,159	0,124	0,099	0,097
Curah Hujan Ekstrem JJA (P90)	POD	0,87	0,93	0,958	0,928
	FAR	0,14	0,15	0,096	0,12

Tabel 3.1 menunjukkan nilai rata-rata keseluruhan metode koreksi yang dihitung pada periode validasi tahun 2001-2005 (5 Tahun). Tanda berwarna biru menunjukkan metode dengan evaluasi terbaik. Pada statistik umum rata-rata bias, korelasi dan RMSE metode *Quantile Mapping* menunjukkan hasil terbaik, kemudian pada nilai verifikasi dikotomi dengan ambang batas 0,5 mm pada POD *Quantile Mapping* memiliki hasil terbaik sedangkan FAR *Linear scaling* menunjukkan hasil terbaik. Pada curah hujan ekstrem ambang batas persentil 90 metode *Quantile Mapping* menunjukkan hasil terbaik di semua metode evaluasi verifikasinya. Selanjutnya pada curah hujan ekstrem yang dihitung berdasarkan musim hujan DJF dengan ambang batas persentil 90 metode *Linear Scaling* menunjukan hasil terbaik dan FAR terendah oleh metode *Local Intensity Scaling*. Curah hujan musim kemarau JJA metode *Quantile Mapping* memberikan hasil terbaik. Sehingga disimpulkan dari rata-rata keseluruhan metode evaluasi dengan metode koreksi terbaik yaitu *Quantile Mapping*.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Koreksi curah hujan meningkatkan estimasi model CCAM mendekati nilai observasi dibuktikan dengan peningkatan rata-rata dan korelasi, dan penurunan nilai RMSE untuk ketiga metode.
2. Curah hujan setelah dikoreksi mampu lebih akurat dalam mendeteksi curah hujan ekstrem pada ambang batas persentil 90 dilihat pada nilai POD yang mencapai nilai 1.

3. Metode koreksi *Quantile Mapping* memiliki performa terbaik untuk seluruh evaluasi statistik umum dan verifikasi dikotomi. Metode *Local Intensity Scaling* menunjukkan hasil yang kurang baik dilihat dari evaluasi statistik.

#### 4.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah:

1. Hasil koreksi bias CCAM menggunakan tiga metode koreksi (LS, QM, LOCI) memberikan hasil yang sangat baik terhadap data observasi. Namun kurang baik ketika diterapkan pada topografi yang kompleks sehingga perlu dicari kembali metode koreksi yang terbaik khususnya dalam mengoreksi wilayah dengan topografi yang kompleks.
2. Dalam menganalisis wilayah regional yang lebih kecil memerlukan data dengan resolusi yang lebih tinggi, sehingga data dengan resolusi lebih tinggi diperlukan agar dapat dianalisis dengan lebih detail.

#### 5. Daftar Pustaka

- Dosio, A., Paruolo, P., & Rojas, R. (2012). Bias correction of the ENSEMBLES high resolution climate change projections for use by impact models: Analysis of the climate change signal. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 117(17). <https://doi.org/10.1029/2012JD017968>
- Fang, G. H., Yang, J., Chen, Y. N., & Zammit, C. (2015). Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(6), 2547–2559. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2547-2015>
- IPCC. (2021). Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.
- Jha, M., Pan, Z., Takle, E. S., & Gu, R. (2004). Impacts of climate change on streamflow in the Upper Mississippi River Basin : A regional climate model perspective The Impacts of Climate Change on Stream Flow in the Upper Mississippi River Basin : A Regional Climate Model Perspective. May <https://doi.org/10.1029/2003JD003686>
- Kim, G., Cha, D. H., Lee, G., Park, C., Jin, C. S., Lee, D. K., Suh, M. S., Ahn, J. B., Min, S. K., & Kim, J. (2020). Projection of future precipitation change over South Korea by regional climate models and bias correction methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 141(3–4), 1415–1429. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03282-5>
- Lenderink, G., Buishand, A., & Deursen, W. v. (2007). Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: Direct versus delta approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(3), 1145–1159.
- Martins, J., Fraga, H., Fonseca, A., & Santos, J. A. (2021). Climate projections for precipitation and temperature indicators in the douro wine region: The importance of bias correction. *Agronomy*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050990>
- Nurlatifah, A., Sipayung, S. B., & Siswanto, B. (2019). Rainfall Scenario of West Nusa Tenggara in 2040 Based on CCAM RCP 4.5. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 303(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/303/1/012033>
- P.S Smitha. (2018) An improved bias correction method of daily rainfall data using a sliding window technique for climate change impact assessment. *Journal of Hydrology* 556. 100–118
- Schmidli, J., Frei, C., & Vidale, P. L. (2006). Downscaling from GCM precipitation: A benchmark for dynamical and statistical downscaling methods. *International Journal of Climatology*, 26(5), 679–689. <https://doi.org/10.1002/joc.1287>
- Themeßl, M. J., Gobiet, A., & Heinrich, G. (2012). Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal. *Climatic Change*, 112(2), 449–468. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0224-4>