



Performa Koreksi Bias Prakiraan Curah Hujan Model *European Centre Medium Weather Forecast* (ECMWF) di Sulawesi

Wenas Ganda Kurnia^{1*}, Robi Muharsyah², Sofian Widiyanto³

¹Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Lore Lindu Bariri, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Area Perkantoran Bandar Udara Mutiara Sis Aljufri, Kota Palu, 94231

²Sub Bidang Analisis Informasi Iklim BMKG Pusat, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Jakarta Pusat, 10720

³Stasiun Klimatologi Minahasa Utara, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Jl. Raya Paniki Atas, Minahasa Utara, 95373

*Email: wenasbmkg@gmail.com

Naskah Masuk: 26 Juni 2020 | Naskah Diterima: 09 November 2020 | Naskah Terbit: 01 Desember 2020

Abstrak. Sulawesi memiliki pola curah hujan yang terdiri dari pola curah hujan monsun, ekuatorial, dan lokal sehingga menyebabkan tingkat kesulitan tersendiri untuk menentukan prakiraan curah hujan di wilayah tersebut. Saat ini telah tersedia beberapa produk prakiraan curah hujan berdasarkan model, salah satunya adalah keluaran prakiraan model ECMWF System 4 (ECS4). Tujuan dari kajian penelitian ini adalah untuk mengetahui bias pada prakiraan model *European Centre Medium Weather Forecast* (ECMWF) system 4 yang digunakan di Sulawesi. Dari hasil analisis yang diperoleh bahwa nilai model ECMWF system 4 memiliki nilai bias yang cukup besar di Sulawesi, terutama wilayah yang mempunyai pola curah hujan lokal dan ekuatorial seperti Sulawesi Tengah, Gorontalo, Sulawesi Selatan bagian timur, namun untuk wilayah seperti Sulawesi Selatan bagian barat dan selatan, Sulawesi Utara, Sulawesi Barat dan Sulawesi Tenggara yang wilayahnya mempunyai tipe hujan monsun prakiraan ini memiliki bias yang relatif kecil. Untuk hasil prakiraan ECMWF system 4 setelah di koreksi bias menggunakan *Linear Scaling* (LS) dan *Quantile Mapping* (QM) ternyata memiliki nilai yang mendekati nilai observasinya namun dari kedua metode bias tersebut, metode LS lebih memiliki performa paling bagus.

Kata Kunci: Koreksi Bias, Prakiraan Curah Hujan, ECMWF System 4, *Linear Scaling* *Quantile Mapping*

Abstract. Sulawesi has a rainfall pattern consisting of monsoonal, equatorial, and local rainfall patterns, thus causing the difficulty level itself to determine rainfall forecasts in the region. Currently, several rainfall forecast products are available based on models, one of which is the forecast output for the ECMWF System 4 (ECS4) model. The purpose of this research study is to determine the bias in the forecast model of the European Center Medium Weather Forecast (ECMWF) system 4 used in Sulawesi. From the results of the analysis, it was found that the ECMWF system 4 model value has a fairly large bias value in Sulawesi, especially areas that have local and equatorial rainfall patterns such as Central Sulawesi, Gorontalo, eastern South Sulawesi, but for regions such as western and western South Sulawesi. South, North Sulawesi, West Sulawesi and Southeast Sulawesi whose areas have the monsoonal rainfall type, this forecast has a relatively small bias. For the prediction results of ECMWF system 4 after bias correction using *Linear Scaling* (LS) and *Quantile Mapping* (QM), it turns out that it has a value close to its observation value, but of the two bias methods, the LS method has the best performance.

Keywords: *Bias Correction, Rainfall Forecast, ECMWF System 4, Linear Scaling Quantile Mapping*

Pendahuluan

Sulawesi memiliki pola curah hujan terdiri dari pola curah hujan monsunial, ekuatorial, dan local [1] sehingga menyebabkan tingkat kesulitan tersendiri untuk menentukan prakiraan curah hujan di wilayah tersebut. Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang memiliki variasi tinggi dalam skala ruang maupun waktu sehingga sulit untuk diprediksi [2]. Hujan merupakan salah satu unsur iklim yang memiliki peranan sangat penting di wilayah tropis seperti wilayah Indonesia [3]. Selain itu juga sangat berpengaruh terhadap berbagai sektor kehidupan, seperti pertanian, kehutanan, perkebunan, pengairan, kelautan, infrastruktur dan lain sebagainya [4]. Pada sektor pertanian, curah hujan menjadi informasi sangat penting untuk penentuan masa tanam, kalender tanam dan penentuan pola tanam. Sektor sumber daya air, curah hujan merupakan input utama dalam ketersediaan air di alam (waduk, danau, sungai, air tanah), sehingga input curah hujan yang akurat menjadi sangat penting [5]. Oleh karena itu, kebutuhan ketepatan analisis dan prakiraan curah hujan di wilayah Indonesia menjadi sangat penting.

Saat ini, tuntutan prakiraan curah hujan semakin tinggi, pengguna memerlukan prakiraan curah hujan musiman yang akurat, yang dapat diandalkan secara statistik dan bebas dari bias [6]. Dalam kaitan dengan analisis dan prakiraan curah hujan, kendala dan permasalahan yang masih sering dihadapi yaitu minimnya ketersediaan data hujan observasi baik spasial maupun temporal, *time series* data hujan yang tidak cukup panjang dan tidak lengkap serta jumlah titik pengamatan hujan yang kurang tersebar merata [5], kurangnya tenaga pengamat, sistem pengamatan dan pemasukan data yang masih manual menyebabkan pengumpulan data dari daerah tertentu ke tingkat pusat berjalan lambat karena sumber daya manusia dan infrastruktur tiap daerah yang berbeda – beda. Kendala dan permasalahan tersebut menyebabkan data pengamatan hujan di permukaan masih sulit diperoleh dengan cepat, di sisi lain kita juga harus memeriksa kualitas data sebelum digunakan karena belum adanya metode *quality control* yang tepat [7]. Sumber ketidakpastian pengamatan berasal dari ketidakpastian dalam kualitas data, variabilitas dalam jumlah stasiun, teknik interpolasi, dan ketidakpastian dalam metadata, karena berasal dari sumber yang berbeda. Juga, karena variasi dalam topografi dan keterbatasan jumlah stasiun yang mungkin memiliki pola skala besar terdefinisi dengan baik, tetapi fitur skala kecil kemungkinan akan lebih tidak pasti [8]. Terkait dengan kendala dan permasalahan tersebut, maka dibutuhkan metode alternatif dalam pendugaan atau prakiraan curah hujan [7] untuk mengatasi data curah hujan dalam kaitannya dengan analisis maupun prakiraan. Saat ini telah tersedia beberapa produk prakiraan curah hujan berdasarkan model, salah satunya adalah keluaran prakiraan model ECMWF *System 4* (ECS4). Model ECMWF *System 4* adalah Model prakiraan yang populer, mempunyai resolusi $1^\circ \times 1^\circ$ serta jangkauan prediksinya 7 – 9 bulan [9].

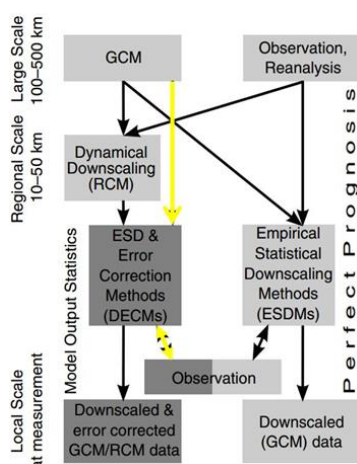
Walaupun prakiraan musim global terus diperbaharui atau ditingkatkan kualitasnya, baik dari segi komputasi ataupun formulasi matematisnya, akan tetapi bias tersebut akan selalu ada di dalam *raw* model prakiraan musim global seperti kajian koreksi bias curah hujan dari keluaran model ECMWF *System 5* di pulau Jawa yang telah dilakukan oleh Ratri dkk (2019) [10]. Bias harus dikoreksi karena dapat menyebabkan kesalahan yang signifikan dalam penilaian dampak [11]. Selain bias, prakiraan *ensemble* juga memiliki penyebaran data yang terlalu sempit atau terlalu lebar. Jadi sebelum prakiraan model ECMWF atau prakiraan musim global lainnya dapat diterapkan atau digunakan secara praktis, statistik pasca proses diperlukan untuk memperbaiki bias dan kesalahan dalam dispersi [12]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bias yang terjadi pada prakiraan model ECMWF *System 4* di Sulawesi. Hasil penelitian ini diharapkan sebagai langkah awal para prakirawan dalam menentukan ketepatan model yang digunakan untuk prakiraan curah hujan sesuai karakteristik wilayah sehingga dapat meningkatkan keakuratan prakiraan curah hujan di suatu wilayah khususnya Sulawesi.



Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data koordinat pos hujan beserta data curah hujan observasi di pulau Sulawesi berdasarkan ketersediaan data tahun 2000 – 2019. Data prakiraan masa lampau (*reforecast*) tahun 2000 – 2014 ECMWF System 4 yang digunakan untuk mendapatkan faktor koreksi, data prakiraan masa depan (*real – time forecast*) tahun 2015 – 2019 ECMWF System 4 yang digunakan untuk melakukan uji koreksi bias menggunakan metode bias *Linear Scaling* (LS) dan *Quantile Mapping* (QM).

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah statistik deskriptif yang digunakan untuk menjelaskan bias pada model ECMWF system 4 sebelum dan setelah dikoreksi menggunakan metode bias *Linear Scaling* (LS) dan *Quantile Mapping* (QM). Metode koreksi bias yang digunakan untuk mengoreksi model ECMWF System 4 adalah metode bias *Linear Scaling* (LS) dan *Quantile Mapping* (QM). Metode bias atau koreksi bias termasuk pada *direct post – processing* yang artinya hanya ada satu variabel keluaran model prediksi iklim global, seperti curah hujan yang di koreksi atau dikalibrasi langsung terhadap curah hujan observasi, tanpa melibatkan variabel lain seperti Angin dan *Sea Surface Temperature* (SST) seperti ditunjukkan panah kuning yang terlihat pada gambar 1[13].



Gambar 1. Skema Umum *Post – Processing* (PP) Keluaran Model Iklim Global

Koreksi bias bekerja dengan mencari suatu fungsi transfer, yang menyatakan transformasi statistik antara observasi dan *raw* model, berikut rumus dari koreksi bias [13]:

$$P_o = h(P_m) \quad (1)$$

P_m adalah *raw* model

P_o adalah observasi

h adalah fungsi antara keduanya

Fungsi tersebut digunakan untuk mengetahui hubungan antara data *reforecast* dan data observasi sehingga didapatlah nilai fungsi transfer yang dinamakan faktor koreksi, kemudian menggunakan fungsi transfer tersebut untuk mengoreksi *raw* model pada periode *testing real – time forecast*.

Metode *Linier Scaling* (LS) adalah metode koreksi bias paling sederhana, metode ini hanya mengoreksi rata-rata *raw* model terhadap rata – rata observasi (satu momen statistik). Dalam mendapatkan prediksi curah hujan terkoreksi pada bulan ke – m ($P_{cor,m}$) → maka dicari terlebih dahulu hubungan antara *mean* observasi $\mu(P_{obs,m})$ dan *mean* model $\mu(P_{raw,m})$ untuk bulan ke – m pada periode *training* sehingga diperoleh suatu faktor koreksi → faktor koreksi tersebut dikalikan

dengan prediksi curah hujan *raw* model pada bulan ke – m ($P_{raw,m}$) di periode *testing*, berikut rumus dari koreksi bias *Linear Scaling* [14].

$$P_{cor,m} = P_{raw,m} + \frac{\mu(P_{obs,m})}{\mu(P_{raw,m})} \quad (2)$$

$P_{cor,m}$ adalah curah hujan terkoreksi

$P_{raw,m}$ adalah curah hujan model

$\mu(P_{obs,m})$ adalah *mean* observasi

$\mu(P_{raw,m})$ adalah *mean* model

Metode *Quantile Mapping* (QM) adalah metode koreksi yang cukup komprehensif dan *robust* karena mampu mengoreksi rata – rata dan variasi model (dua momen statistik) [15]. Hal ini disebabkan karena QM tidak mengasumsikan jenis distribusi tertentu untuk curah hujan. Metode koreksi bias QM pada prinsipnya mencari tranformasi statistik antara fungsi kuantil *Cumulative Distribution Function* (CDF) observasi dan kuantil CDF *raw* model seperti ditunjukan oleh persamaan (3) dan diilustrasikan pada Gambar 2 [15]. Pada persamaan 3, koreksi bias dimulai dengan mencari kuantil empiris dari CDF (disebut juga *ecdf*) nilai observasi dan *raw* model untuk bulan ke – m pada periode *training* menggunakan *reforecast* ECS4. Setelah itu dicari hubungan antara kuantil – kuantil tersebut untuk mendapatkan faktor koreksi. Hubungan ini bisa dibangun secara linier atau polinomial. Kemudian faktor koreksi ini dikalikan dengan nilai prediksi curah hujan *raw* model pada periode *testing* menggunakan *real – time forecast* ECS4 untuk bulan ke – m (P). Pada akhirnya, hasil perkalian tersebut disebut sebagai prakiraan curah hujan terkoreksi. Sebagian peneliti beranggapan bahwa metode QM cukup *robust*, namun demikian mereka juga menggarisbawahi penggunaan metode QM dapat mengubah urutan kejadian hari hujan pada *raw* model sehingga dianggap merusak informasi yang sebenarnya di dalam *raw* model [13]–[16]. Berikut rumus dari koreksi bias metode *Quantile Mapping* [13]–[16]:

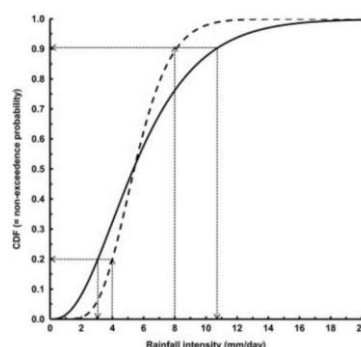
$$P_{cor,m} = ecdf^{-1}_{obs,m}(ecdf_{raw,m}(P_{raw,m})) \quad (3)$$

ecdf adalah empiris *cumulative distribution function*

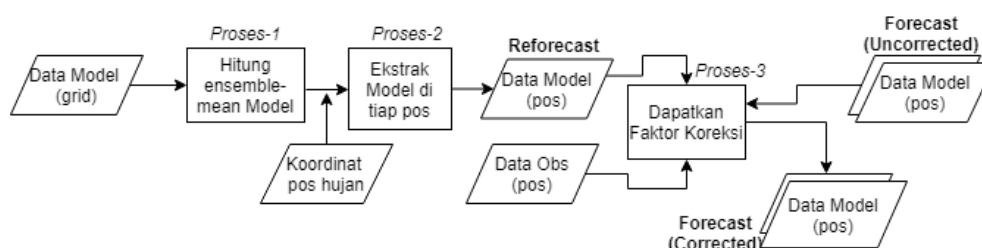
obs,m adalah nilai observasi

raw,m adalah *raw* model

$P_{raw,m}$ adalah curah hujan model



Gambar 2. Skema Koreksi Bias dengan Metode *Quantile Mapping* (QM), CDF untuk Curah Hujan Harian Observasi (garis hitam *solid*), dan CDF Model (garis hitam *dashed*) serta Fungsi Transfer pada tiap Kuantil CDF (garis *dotted*) yang dipakai untuk mengoreksi Curah Hujan [15]

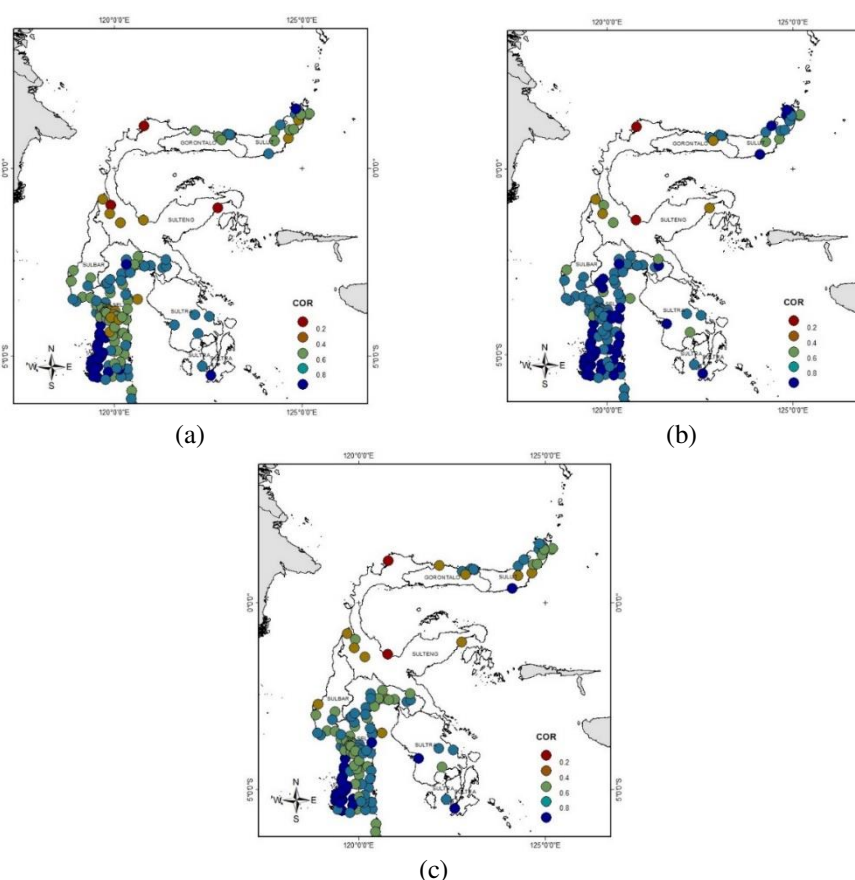


Gambar 3. Skema umum proses bias koreksi curah hujan keluaran model global yang dikoreksi terhadap observasi curah hujan di setiap pos hujan.

Proses 1: menghitung rerata *ensemble* atau *ensemble mean* model, hal ini dilakukan dengan menghitung rerata nilai curah hujan dari 17 anggota *ensemble* model sehingga diperoleh satu nilai sebagai rerata dari semua anggota *ensemble* tersebut. Proses 2: mengekstrak nilai *ensemble mean* model tersebut di setiap pos hujan menggunakan metode jarak terdekat (*nearest neighbour*) antara grid model terhadap koordinat pos hujan. Tujuan dari proses ini untuk mendapatkan nilai model pada tiap koordinat pos hujan. Proses 3: melakukan koreksi bias menggunakan metode LS dan QM. Koreksi bias dilakukan per bulan sehingga masing – masing bulan dikerjakan secara terpisah, Januari hingga Desember. Dengan kata lain terdapat 12 faktor koreksi untuk masing – masing metode LS dan QM. Setelah diperoleh faktor koreksi, maka faktor koreksi tersebut digunakan untuk mengoreksi periode *testing* menggunakan data *real – time forecast* model ECMWF System 4, periode 2015 – 2019.

Hasil dan Pembahasan

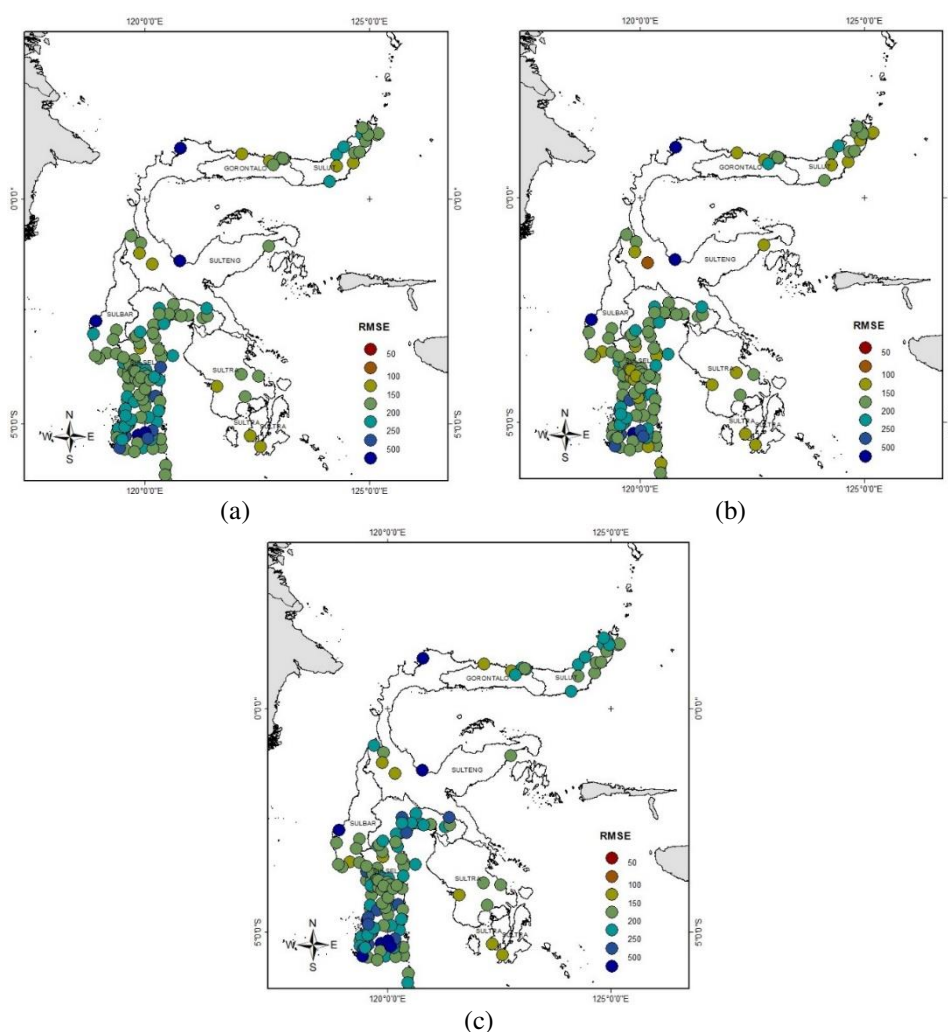
Faktor Koreksi Data Model dan Data Observasi



Gambar 4. Korelasi antara data model ECMWF dengan data observasi, (a) belum dikoreksi, (b) setelah dikoreksi LS, (c) setelah dikoreksi QM

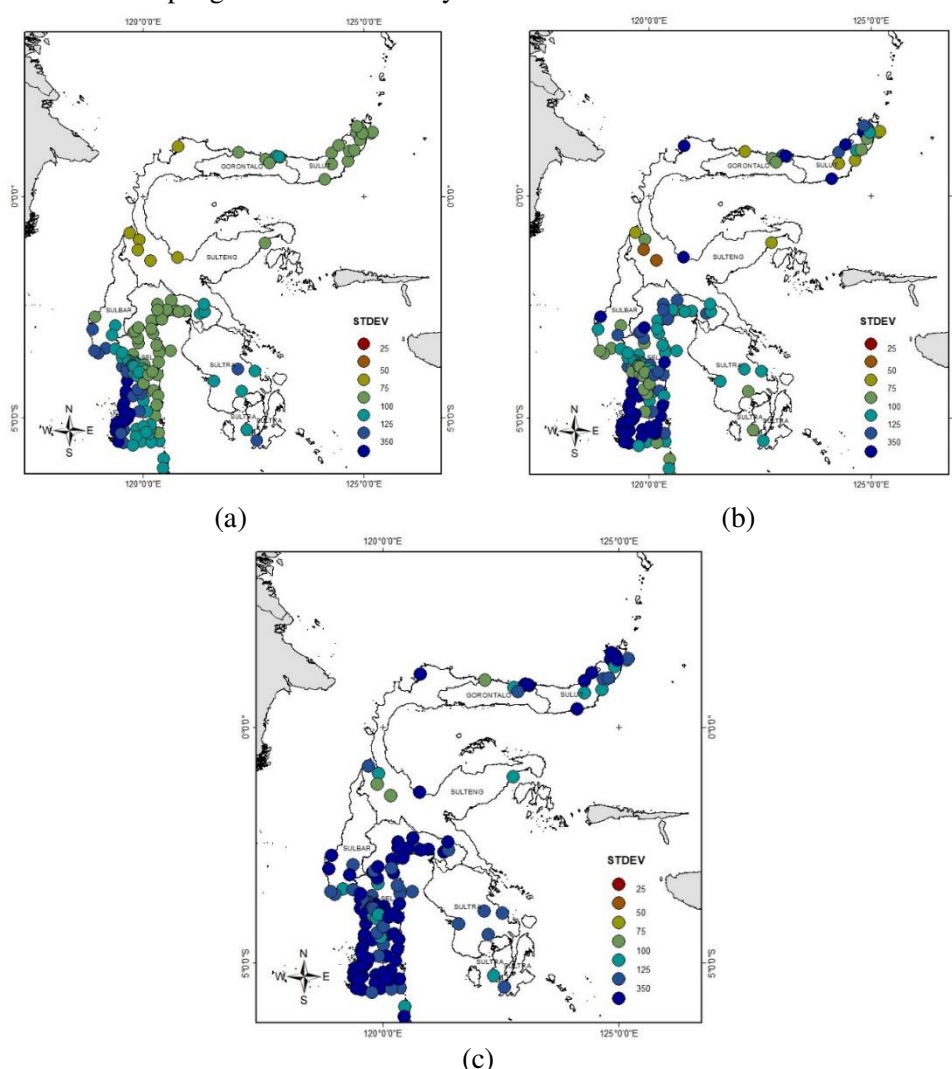
Bagian pertama membahas korelasi antara data model ECMWF *System 4* dengan data observasi sebelum dan setelah dikoreksi menggunakan metode LS dan QM. Dapat dilihat pada Gambar 4, ketiganya menunjukkan perbedaan yang mencolok antara sebelum dikoreksi dan setelah dikoreksi, pada Gambar 4 (a) wilayah yang mempunyai pola curah hujan monsunial seperti Sulawesi Selatan bagian selatan dan barat, Sulawesi Barat, Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Utara [1] memiliki korelasi cukup besar yaitu 0.4 hingga 0.8 sedangkan wilayah Sulawesi Selatan bagian timur, Gorontalo dan Sulawesi Tengah yang mempunyai pola curah hujan ekuatorial dan lokal [11], [17] memiliki nilai korelasi yang bervariasi. Seperti wilayah Sulawesi Tengah memiliki nilai korelasi negatif hingga 0.2 yang ditunjukkan dengan warna merah dan *orange* sedangkan Gorontalo dan Sulawesi Selatan bagian tengah memiliki nilai korelasi 0.2 hingga 0.6.

Kemudian setelah dikoreksi bias menggunakan metode LS, mayoritas pos hujan mengalami peningkatan korelasi sebesar 0.2 hingga 0.4 namun untuk wilayah Sulawesi Tengah meski telah mengalami peningkatan sebesar 0.2, wilayah tersebut adalah wilayah yang mempunyai nilai korelasi terendah. Hal ini menunjukkan bahwa performa model ECMWF kurang pas digunakan di wilayah Sulawesi Tengah. Selanjutnya pada Gambar 4 (c) koreksi bias menggunakan metode QM, secara keseluruhan pos hujan di wilayah Sulawesi mengalami sedikit kenaikan korelasi yaitu sebesar 0.2. Jika kedua metode LS dan QM dibandingkan, metode LS memiliki nilai korelasi yang lebih besar.



Gambar 5. RMSE antara data model ECMWF dengan data observasi, (a) belum dikoreksi, (b) setelah dikoreksi LS, (c) setelah dikoreksi QM

Bagian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai RMSE sebelum dan setelah dikoreksi bias menggunakan metode LS dan QM. Pada Gambar 5 (a) dapat dijelaskan bahwa ada perubahan nilai RMSE sebelum dan setelah dikoreksi seperti yang terlihat pada Gambar 5 (b), pada wilayah pola curah hujan monsonal seperti Sulawesi Selatan bagian barat dan selatan, Sulawesi Barat dan Sulawesi Utara [1] yang sebelum dikoreksi pada Gambar 5 (a) berwarna hijau toska dan hijau yang masing – masing mempunyai nilai RMSE sebesar 150 dan 200 mengalami penurunan nilai RMSE menjadi 100 dan 150. Namun pada wilayah yang sama ketika dikoreksi bias menggunakan metode QM justru mengalami peningkatan nilai RMSE sebesar 200 hingga 500 seperti yang terlihat pada Gambar 5 (c). Selanjutnya untuk wilayah monsonal lainnya seperti Sulawesi Tenggara sebelum dan setelah dikoreksi bias menggunakan metode LS dan QM nilai RMSEnya tidak terjadi peningkatan maupun penurunan yaitu mempunyai nilai sebesar 100 hingga 150. Kemudian wilayah Sulawesi Tengah dan Gorontalo yang memiliki pola curah hujan lokal dan equatorial [1] sebelum dan setelah dikoreksi bias menggunakan metode LS dan QM, sebagian dari pos hujan pada kedua wilayah tersebut sedikit mengalami peningkatan nilai RMSE dan sebagian tidak mengalami peningkatan ataupun penurunan nilai RMSE seperti yang terlihat pada Gambar 5, hal ini menunjukkan bahwa koreksi bias menggunakan metode LS dan QM tidak terlalu berpengaruh di kedua wilayah tersebut.

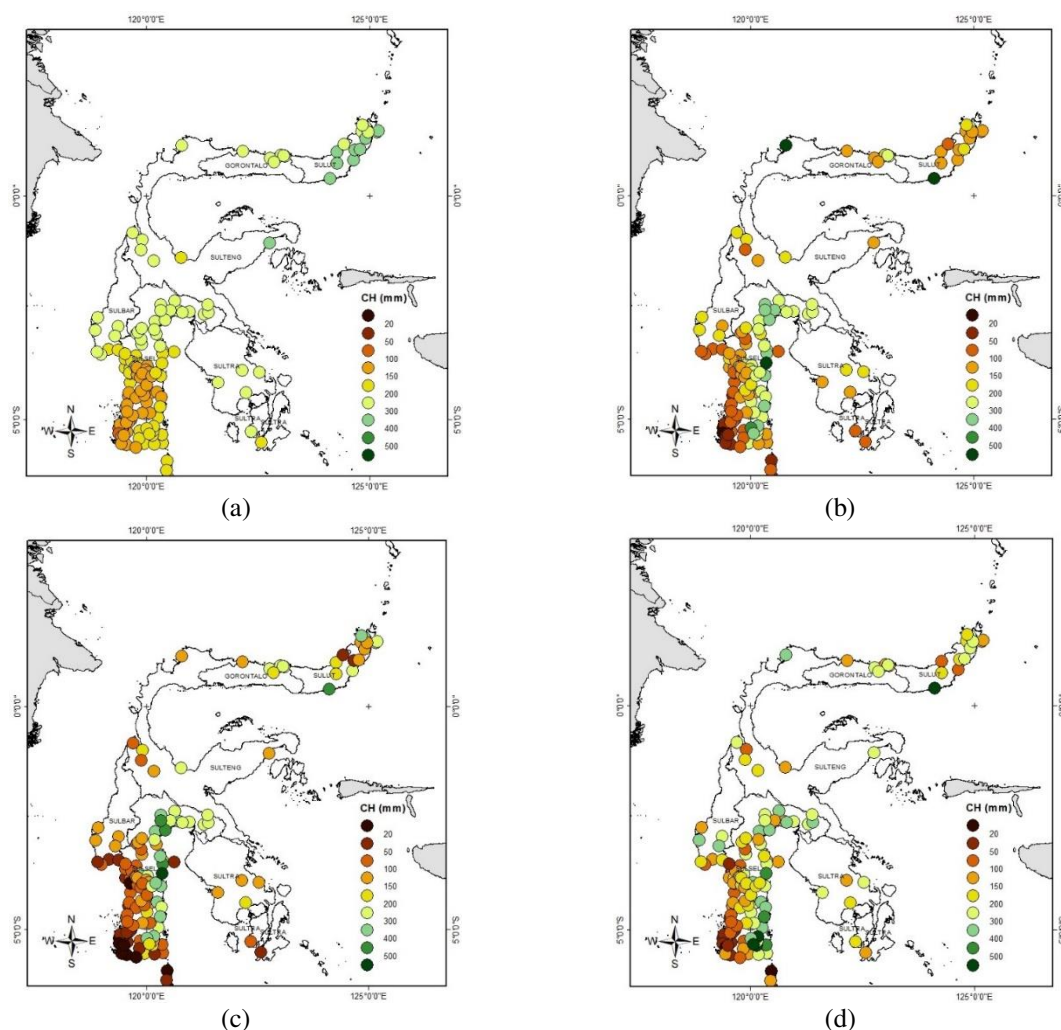


Gambar 6. Standar deviasi antara data model ECMWF dengan data observasi, (a) belum dikoreksi, (b) setelah dikoreksi LS, (c) setelah dikoreksi QM

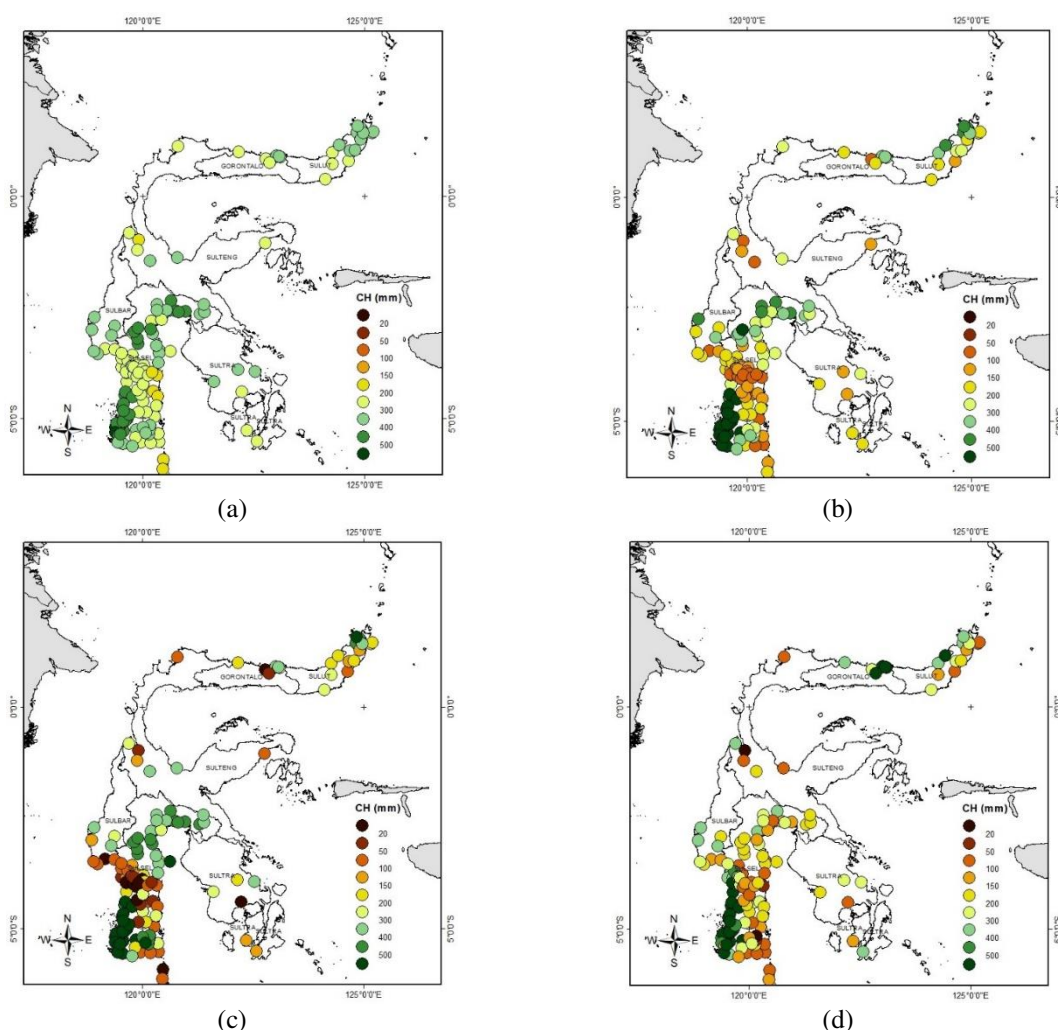
Pada bagian ini menunjukkan seberapa besar simpangan baku atau standar deviasi antara data model ECMWF dengan data observasi sebelum dan setelah dikoreksi bias menggunakan metode LS dan QM.

Terlihat pada Gambar 6, bahwa nilai standar deviasi mengalami penurunan setelah dikoreksi dengan metode LS. Wilayah seperti Sulawesi Selatan bagian tengah dan sedikit pada bagian barat, Sulawesi Tengah bagian tengah serta Sulawesi Tenggara bagian selatan mengalami penurunan dengan nilai penurunan standar deviasi sebesar 50. Untuk koreksi bias menggunakan metode QM mayoritas dari keseluruhan pos hujan di wilayah Sulawesi mengalami peningkatan standar deviasi jika dibandingkan dengan standar deviasi sebelum dikoreksi seperti yang terlihat pada Gambar 6 (c). Dari kedua metode koreksi bias diatas menunjukan bahwa dua metode koreksi bias tersebut tidak mampu mempengaruhi penurunan simpang baku atau standar deviasi di Sulawesi, namun hanya metode LS saja yang mampu menurunkan simpangan baku itupun hanya disebagian kecil wilayah Sulawesi.

Testing Saat Tahun Normal



Gambar 7. Koreksi periode *testing* saat tahun normal Juli 2017 antara data model ECMWF dengan data observasi, (a) belum dikoreksi, (b) setelah dikoreksi LS, (c) setelah dikoreksi QM, (d) data observasi



Gambar 8. Koreksi periode *testing* saat tahun normal Januari 2017 antara data model ECMWF dengan data observasi, (a) belum dikoreksi, (b) setelah dikoreksi LS, (c) setelah dikoreksi QM, (d) data observasi

Periode *testing* ini digunakan untuk mengetahui bagaimana performa dari bulan Januari dan Juli pada tahun 2017 yang mana bulan tersebut adalah periode musim hujan dan musim kemarau. Tahun 2017 adalah tahun normal seperti yang ditunjukkan oleh Indeks Nino [18]. Dapat dilihat pada Gambar 7 (a) hasil prediksi atau prakiraan ECMWF sebelum dikoreksi yang mana pada masing – masing wilayah di Sulawesi hanya memiliki sedikit variasi curah hujan, contoh saja wilayah Sulawesi Selatan yang hanya memiliki 2 variasi curah hujan berwarna *orange* dan kuning yang masing – masing memiliki nilai sebesar 100 dan 150 mm, begitu juga wilayah Sulawesi yang lainnya. Hasil koreksi bias menggunakan metode LS maupun metode QM, hasil koreksi dari kedua metode tersebut memiliki variasi curah hujan yang begitu beragam pada masing – masing wilayah. Jika dilihat pada Gambar 7 (d), hasil koreksi bias metode LS dan QM menyerupai keadaan yang sesungguhnya yaitu data observasi. Kemudian jika dilihat dari performa kedua metode tersebut, metode LS lebih mendekati atau menyerupai data observasi terlebih pada wilayah pola curah hujan monsunial seperti Sulawesi bagian barat dan selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Barat dan Sulawesi Utara [1] begitu juga pada periode *testing* bulan Januari 2017 yang terlihat pada Gambar 8.

Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa nilai model ECMWF *System 4* memiliki nilai bias yang cukup besar di Sulawesi, terutama wilayah yang mempunyai pola curah hujan lokal dan equatorial seperti Sulawesi Tengah, Gorontalo, Sulawesi Selatan bagian timur, namun untuk wilayah seperti Sulawesi Selatan

bagian barat dan selatan, Sulawesi Utara, Sulawesi Barat dan Sulawesi Tenggara yang wilayahnya mempunyai tipe hujan monsunial prakiraan ini memiliki bias yang relatif kecil. Untuk hasil prakiraan ECMWF system 4 setelah di koreksi bias menggunakan LS dan QM ternyata memiliki nilai yang mendekati nilai observasinya namun dari kedua metode bias tersebut, metode LS lebih memiliki performa paling bagus.

Daftar Pustaka

- [1] T. Bayong, "Klimatologi Umum," *Penerbit ITB Bandung*, 1999.
- [2] B. D. Dasanto, R. Boer, B. Pramudya, and Y. Suharnoto, "Evaluasi Curah Hujan TRMM Menggunakan Pendekatan Koreksi Bias Statistik," *J. Tanah dan Iklim*, vol. 38, no. 1, pp. 15–24, 2014.
- [3] Y. S. Swarinoto, Y. Koesmaryono, E. Aldrian, and A. H. Wigena, "Model Sistem Prediksi Ensemble Total Hujan Bulanan Dengan Nilai Pembobot (Kasus Wilayah Kabupaten Indramayu)," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 13, no. 3, 2012.
- [4] N. T. Rahmani and D. Hariyono, "Kajian Perubahan Curah Hujan terhadap Produktivitas Tanaman Jagung (*Zea Mays L.*) pada Lahan Kering," *J. Produksi Tanam.*, vol. 7, no. 8, 2019.
- [5] F. Su, Y. Hong, and D. P. Lettenmaier, "Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin," *J. Hydrometeorol.*, vol. 9, no. 4, pp. 622–640, 2008.
- [6] A. Schepen, Q. J. Wang, and D. E. Robertson, "Seasonal forecasts of Australian rainfall through calibration and bridging of coupled GCM outputs," *Mon. Weather Rev.*, vol. 142, no. 5, pp. 1758–1770, 2014.
- [7] M. Mamenun, H. Pawitan, and A. Sopaheluwakan, "Validasi dan koreksi data satelit trmm pada tiga pola hujan di indonesia," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 15, no. 1, 2014.
- [8] G. R. McGregor and S. Nieuwolt, *Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes.*, no. Ed. 2. John Wiley & Sons Ltd, 1998.
- [9] F. Molteni *et al.*, *The new ECMWF seasonal forecast system (System 4)*, vol. 49. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reading, 2011.
- [10] D. N. Ratri, K. Whan, and M. Schmeits, "A Comparative Verification of Raw and Bias-Corrected ECMWF Seasonal Ensemble Precipitation Reforecasts in Java (Indonesia)," *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, vol. 58, no. 8, pp. 1709–1723, 2019.
- [11] J. Murphy, "An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate," *J. Clim.*, vol. 12, no. 8, pp. 2256–2284, 1999.
- [12] D. S. Wilks, *Statistical methods in the atmospheric sciences*, vol. 100. Academic press, 2011.
- [13] M. Jakob Themeßl, A. Gobiet, and A. Leuprecht, "Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models," *Int. J. Climatol.*, vol. 31, no. 10, pp. 1530–1544, 2011.
- [14] C. Piani, J. O. Haerter, and E. Coppola, "Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 99, no. 1–2, pp. 187–192, 2010.
- [15] T. Lafon, S. Dadson, G. Buys, and C. Prudhomme, "Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods," *Int. J. Climatol.*, vol. 33, no. 6, pp. 1367–1381, 2013.
- [16] L. Gudmundsson, J. B. Bremnes, J. E. Haugen, and T. Engen-Skaugen, "Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations—a comparison of methods," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 16, no. 9, pp. 3383–3390, 2012.
- [17] S. Alfandy *et al.*, "Analisis Iklim Provinsi Sulawesi Tengah berdasarkan Data Pemantau Cuaca Otomatis BMKG," *Bul. GAW Bariri*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [18] https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. [Diakses pada bulan Oktober 2020]

