

POLA PENINGKATAN SUHU UDARA BERDASARKAN DATA BMKG DAN ERA5 DI PROVINSI SULAWESI TENGAH

(Pattern of Increasing Air Temperature Based on BMKG and ERA5 Data in Central Sulawesi Province)

Solih Alfiandy¹, Imron Ade Rangga¹, & Donaldi Sukma Permana²

¹Stasiun Pemantau Atmosfer Global (GAW) Lore Lindu Bariri – BMKG, Jl. Sapta Marga No.1,
Kecamatan Palu Selatan, Kota Palu 94231, Indonesia

²Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jl. Angkasa Pura No.1,
Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10720, Indonesia
Email: solih.alfiandy@bmgk.go.idm

Diterima 14 Januari 2021, direvisi 17 Januari 2022, disetujui 25 Januari 2022

ABSTRACT

Studies on the trend analysis of surface air temperature have never been conducted in Central Sulawesi Province. This study aims to determine changes in the average surface air temperature trend in Central Sulawesi Province period 1981 to 2019. Linear regression analysis is used to identify the trend of temperature changes over a certain period. The results show that the average surface air temperature is significantly increased by 0.015–0.045°C per year ($p < 0.05$). The results provide the information on climate change analysis that the average surface air temperature has increased in Central Sulawesi Province over 39 years.

Keywords: Temperature Trends, Central Sulawesi, ERA5.

ABSTRAK

Studi mengenai perubahan iklim berdasarkan parameter suhu udara permukaan di Provinsi Sulawesi Tengah belum pernah dilakukan sebelumnya, sehingga studi ini bertujuan untuk mengetahui perubahan tren suhu udara permukaan periode 1981 – 2019. Metode yang digunakan adalah analisis tren, analisis tren digunakan untuk melihat kecenderungan peningkatan atau penurunan suhu udara pada kurun waktu tertentu. Hasil menunjukkan bahwa laju suhu udara permukaan rata-rata mengalami peningkatan yang signifikan sebesar 0,015–0,045 °C per tahun ($p < 0,05$). Berdasarkan hasil yang diperoleh, analisis perubahan iklim menggunakan data selama 39 tahun memberikan informasi bahwa peningkatan suhu udara permukaan rata-rata telah terjadi di Provinsi Sulawesi Tengah.

Kata kunci: Tren Suhu Udara, Sulawesi Tengah, ERA5.

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan fenomena global, dimana kondisi alam mengalami pergeseran musim atau terjadi anomali terhadap kondisi normalnya dalam rentang waktu yang panjang (Puspitasari & Surendra, 2016). Perubahan iklim identik dengan meningkatnya suhu udara yang berdampak pada perubahan musim dan peningkatan frekuensi kejadian cuaca dan iklim ekstrim (Alfiandy & Permana, 2020). Peningkatan nilai suhu udara dapat terjadi akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) seperti CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, dan SF₆ di atmosfer. Selain dari alam, emisi GRK dapat bersumber dari buatan manusia seperti sektor industri dan energi, serta akibat dari adanya perpindahan hingga terjadi peningkatan jumlah penduduk pada suatu wilayah yang memberikan kontribusi dalam penggunaan kendaraan bermotor (Setiawan, 2012; Sun *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2015).

Peningkatan suhu udara permukaan pada beberapa daerah di Indonesia telah terjadi sebesar 0.005–1.18°C (Ambi *et al.*, 2020; Dede *et al.*, 2019). Selain itu, *UK Met Office* dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) memproyeksikan peningkatan nilai suhu udara di Indonesia berada pada kisaran 2.0–2.50°C pada tahun 2100 berdasarkan skenario emisi A1B dari IPCC (Rejekiingrum, 2014). Peningkatan suhu udara permukaan akan memberikan respon baik dan buruk yang cukup signifikan terhadap kondisi alam, dan pola hidup manusia (indeks kenyamanan), *Urban Heat Island* (UHI), dan lainnya (Alberto *et al.*, 2013; Bazrafshan, 2017; Burke *et al.*, 2015; Carnicer *et al.*, 2011; Widiyanto & Kurnia, 2020; Zhao *et al.*, 2017; Al Mukmin *et al.*, 2016). Peningkatan dan penurunan nilai suhu udara dapat diidentifikasi melalui perubahan secara statistik (tren) dalam jangka waktu yang panjang (Wati dan Fatkhuroyan, 2017).

Penelitian terkait analisis tren suhu udara permukaan di Provinsi Sulawesi Tengah belum pernah dilakukan sebelumnya, hal tersebut

menyebabkan kurangnya informasi kondisi perubahan suhu udara yang terjadi sejak masa lalu hingga saat ini. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengetahui pola perubahan suhu udara rata-rata berdasarkan data reanalisis *The European Centre for Medium – Range Weather Forecast, Reanalysis 5th Generation* (ERA5 ECMWF) periode 1981–2019 di Provinsi Sulawesi Tengah. Studi ini dilakukan untuk menganalisis apakah perubahan suhu udara permukaan yang terjadi di wilayah Provinsi Sulawesi Tengah dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan analisis kebijakan yang akan dilakukan oleh pemerintah daerah dan para pengembang pada sektor-sektor terkait.

II. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam studi ini berupa data suhu udara permukaan hasil observasi milik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dari Stasiun Meteorologi (Stamet) Mutiara Palu, Stasiun Meteorologi (Stamet) Kasiguncu Poso, dan Stasiun Meteorologi (Stamet) Sultan Bantilan Toli-Toli, serta data reanalisis suhu udara permukaan dari ERA5 ECMWF yang dapat diunduh pada <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5> periode 1981–2019. Data reanalisis suhu udara permukaan yang digunakan memiliki resolusi spasial 0.25°. Adapun langkah kerja yang dilakukan dalam studi ini yakni dengan melakukan validasi antara data dari ERA5 ECMWF terhadap data observasi *in-situ*. Validasi dilakukan dengan melakukan perbandingan secara *time series*, dan menampilkan *scatterplot*, koefisien korelasi (R), koefisien determinasi R², dan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Langkah berikutnya yaitu dengan mencari nilai tren menggunakan analisis regresi linier dengan rumus:

$$y = ax + b + e \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:
a = koefisien regresi
b = konstanta

x = suhu udara permukaan
 e = error/bias

Langkah selanjutnya yaitu dengan melakukan uji signifikansi untuk mengetahui perubahan suhu tahunan dari data reanalisis ERA5 ECMWF menggunakan uji t. Uji t dilakukan untuk menguji hipotesa: jika probabilitas nilai $t < 5\%$, maka terdapat perubahan signifikan, dan jika probabilitas nilai $t > 5\%$, maka tidak terdapat perubahan signifikan.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

X_1 = nilai suhu udara rata-rata observasi BMKG

X_2 = nilai suhu udara rata-rata reanalisis ERA5 ECMWF

S = standar deviasi

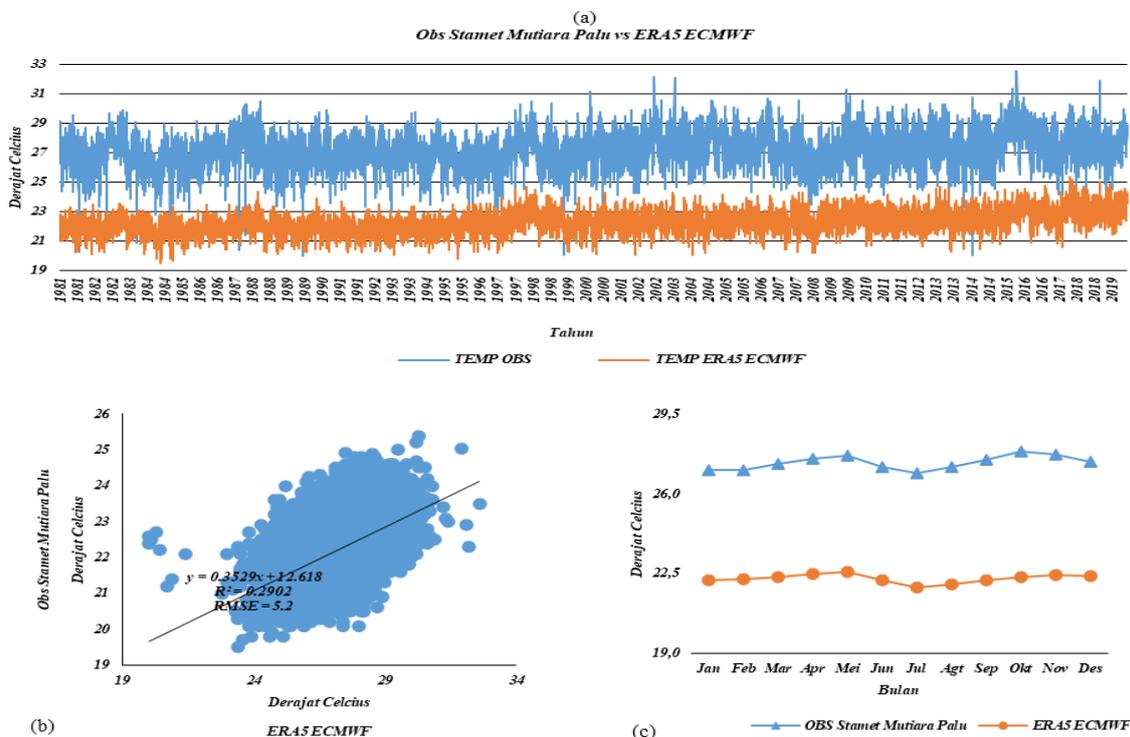
n_1 = jumlah data kumpulan nilai suhu udara rata-rata observasi BMKG

n_2 = jumlah data kumpulan nilai suhu udara rata-rata reanalisis ERA5 ECMWF

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Validasi Data Suhu Udara Permukaan ERA5 ECMWF terhadap Data Observasi Stasiun Meteorologi Mutiara Palu

Gambar 1(a) menunjukkan grafik perbandingan rata-rata antara data suhu udara permukaan dari ERA5 ECMWF dan observasi dari Stamet Mutiara Palu. Dari grafik di atas, nampak kedua data memiliki pola yang sama meskipun nilai data dari ERA5 ECMWF lebih rendah dibandingkan data observasi. Gambar 1(b) menunjukkan adanya hubungan yang linier dan memiliki nilai korelasi positif antara kedua data dengan nilai $R^2 = 0.2902$ dan RMSE sebesar 5.2°C . Gambar 1(c)



Gambar 1. (a) grafik perbandingan time series data suhu udara dari ERA5 ECMWF dan Stamet Mutiara Palu, (b) scatterplot, (c) grafik perbandingan suhu udara rata-rata bulanan

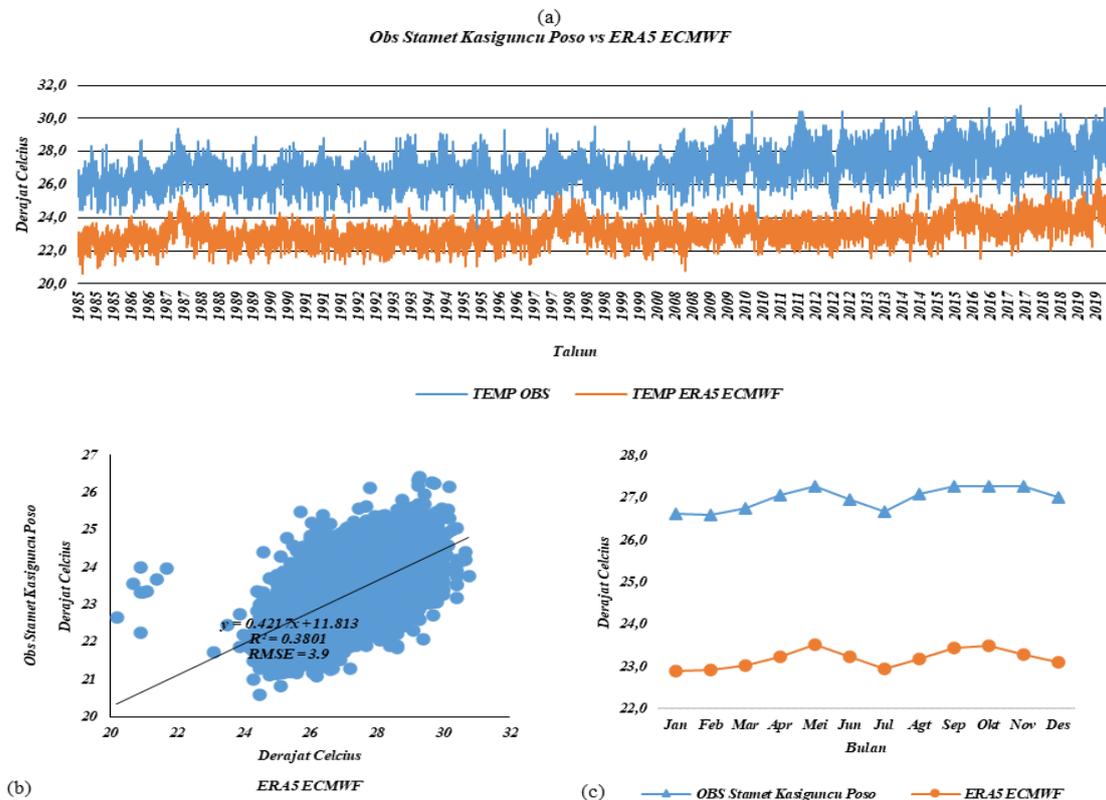
Figure 1. (a) time series comparison chart for air temperature data from ERA5 ECMWF and Stamet Mutiara Palu, (b) scatterplot, (c) monthly average air temperature comparison chart

menunjukkan suhu udara rata-rata bulanan antara data observasi dan reanalisis. Suhu rata-rata tertinggi berada pada bulan Mei dan Oktober dan terendah terjadi pada bulan Juli dan Januari. Secara keseluruhan, kedua data memiliki pola yang sama dengan selisih diantaranya rata-rata sebesar nilai RMSE. Pola suhu udara rata-rata yang memiliki dua puncak tertinggi dan terendah merupakan ciri khas bagi daerah yang berada di wilayah tropis (Fadholi, 2013).

B. Validasi Data Suhu Udara Permukaan ERA5 ECMWF terhadap Data Observasi Stasiun Meteorologi Kasiguncu Poso

Gambar 2(a) menunjukkan grafik perbandingan rata-rata antara data suhu udara permukaan dari ERA5 ECMWF dan observasi dari Stamet Kasiguncu Poso. Berdasarkan

gambar grafik, kedua data memiliki pola yang sama meskipun nilai data dari ERA5 ECMWF lebih rendah dibandingkan nilai dari data observasi. Gambar 2(b) menunjukkan adanya hubungan yang linier dan memiliki nilai korelasi positif antara kedua data dengan nilai $R^2 = 0.3801$ dan RMSE sebesar 3.9°C . Gambar 2(c) menunjukkan suhu udara rata-rata bulanan antara data observasi dan reanalisis. Rata-rata suhu tertinggi berada di bulan Mei dan September serta terendah terjadi pada bulan Januari dan Juli, dan secara keseluruhan kedua jenis data memiliki pola yang sama dengan selisih diantaranya rata-rata sebesar nilai RMSE. Pola suhu udara rata-rata yang memiliki dua puncak tertinggi dan terendah merupakan ciri khas bagi daerah yang berada di wilayah tropis.



Gambar 2. (a) grafik perbandingan time series data suhu udara dari ERA5 ECMWF dan Stamet Kasiguncu Poso, (b) scatterplot, (c) grafik perbandingan suhu udara rata-rata bulanan

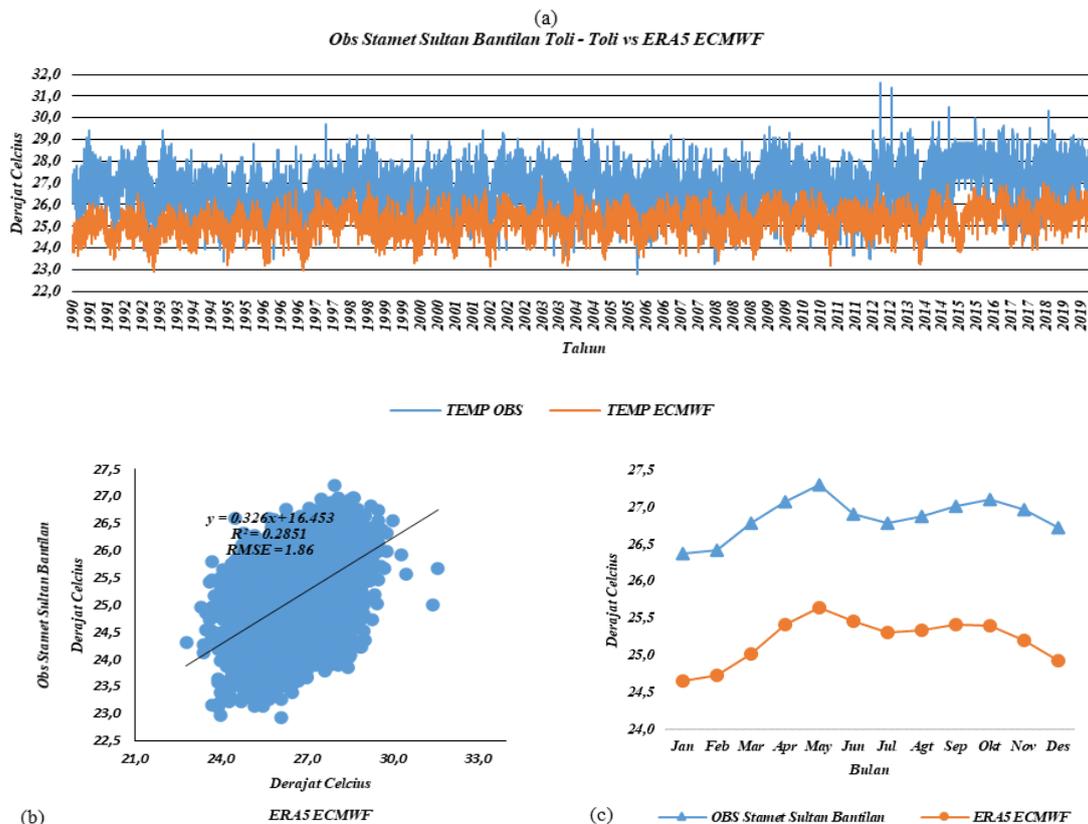
Figure 2. (a) time series comparison chart for air temperature data from ERA5 ECMWF and Stamet Kasiguncu Poso, (b) scatterplot, (c) monthly average air temperature comparison chart

C. Validasi Data Suhu Udara Permukaan ERA5 ECMWF terhadap Data Observasi Stasiun Meteorologi Sultan Bantilan Toli-Toli

Gambar 3(a) menunjukkan grafik perbandingan rata-rata antara data suhu udara permukaan dari ERA5 ECMWF dan observasi dari Stamet Sultan Bantilan Toli-Toli. Berdasarkan grafik di atas, kedua data memiliki pola yang sama meskipun nilai data dari ERA5 ECMWF lebih rendah dibandingkan nilai dari data observasi. Gambar 3(b) menunjukkan adanya hubungan yang linier dan memiliki nilai korelasi positif antara kedua data dengan nilai $R^2 = 0.2851$ dan RMSE sebesar 1.86°C . Gambar 3(c) menunjukkan suhu udara permukaan rata-rata bulanan antara data observasi dan reanalisis. Suhu udara rata-rata tertinggi berada di bulan

Mei dan Oktober dan terendah terjadi pada bulan Januari. Secara keseluruhan kedua jenis data memiliki pola yang sama dengan selisih diantaranya sebesar nilai RMSE.

Fluktuasi suhu udara permukaan yang terjadi (Gambar 1(a), 2(a), dan 3(a)) berkaitan erat dengan proses pertukaran energi yang berlangsung di atmosfer. Dalam periode harian, pada saat siang hari, sebagian energi dari radiasi matahari akan diserap oleh gas-gas dan partikel-partikel yang berada di atmosfer. Pada saat permukaan suatu benda menyerap radiasi, nilai serapan radiasinya akan berbeda tergantung pada sifat fisik obyek permukaan tersebut (Wiweka, 2014). Sifat fisik obyek tersebut diantaranya adalah emisivitas, konduktivitas termal dan kapasitas panas jenis (Wiweka, 2014). Jika suatu obyek permukaan memiliki emisivitas dan kapasitas



Gambar 3. (a) grafik perbandingan time series data suhu udara dari ERA5 ECMWF dan Stamet Sultan Bantilan Toli-Toli, (b) scatterplot, (c) grafik perbandingan suhu udara rata-rata bulanan

Figure 3. (a) time series comparison chart of air temperature data from ERA5 ECMWF and Stamet Sultan Bantilan Toli-Toli, (b) scatterplot, (c) monthly average air temperature comparison chart

panas jenis rendah, sedangkan konduktivitas termalnya tinggi, maka akan menyebabkan suhu permukaan meningkat. Hal sebaliknya terjadi pada suatu obyek permukaan yang memiliki emisivitas dan kapasitas jenis yang tinggi, sedangkan konduktivitas termalnya rendah akan menyebabkan rendahnya suhu permukaan. Suhu permukaan ini akan mempengaruhi jumlah energi untuk memindahkan panas dari permukaan ke udara (Wiweka, 2014).

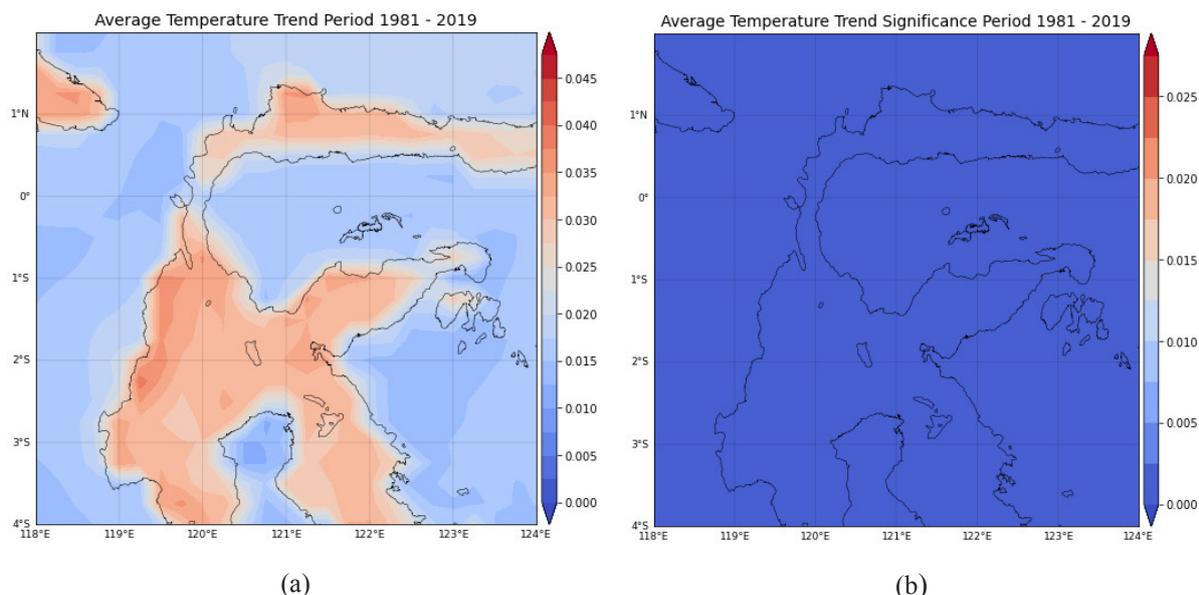
Menurut Dede *et al* (2019), suhu udara permukaan dan kerapatan vegetasi berkorelasi negatif yang artinya bahwa berkurangnya tingkat kerapatan vegetasi akan berdampak pada peningkatan suhu udara permukaan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, bahwa suhu udara permukaan rata-rata tertinggi yang terjadi pada lokasi pengamatan dapat disebabkan karena kondisi vegetasi (tidak terdapat rumput) dan kondisi tanah yang kering, sedangkan suhu udara permukaan rata-rata terendah yang terjadi dapat disebabkan oleh kondisi vegetasi (terdapat rumput) dan kondisi tanah yang lembab atau basah karena hujan. Curah hujan pada lokasi pengamatan di masing-masing Stamet memberikan respon terhadap nilai suhu udara permukaan melalui suplai air bagi tanah dan vegetasi (rumput). Rata-rata, respon (arah hubungan) curah hujan terhadap suhu udara di Stamet Palu, Stamet Toli-Toli bernilai negatif 0.35 dan 0.50, serta pada Stamet Kasiguncu Poso yang bernilai positif 0.18 (rendah) yang mengartikan bahwa pada saat terjadi hujan, maka nilai suhu udara memiliki nilai yang rendah karena energi yang masuk sangat sedikit dibandingkan pada saat tidak hujan. Kondisi ini akan berlanjut setelah terjadi hujan, suhu udara permukaan akan kembali normal pada saat keadaan tanah kembali seperti waktu normalnya. Sebelum kembali seperti normalnya, kondisi tanah akan berada pada fase lembab.

D. Verifikasi Data Reanalisis Suhu Udara Permukaan ERA5 ECMWF Terhadap Data Observasi

Dari hasil pengujian data, didapatkan selisih antara data reanalisis suhu udara permukaan dari ERA5 ECMWF terhadap data observasi dari Stamet Mutiara Palu, Stamet Kasiguncu Poso, dan Stamet Sultan Bantilan Toli-Toli. Selisih data reanalisis dari ERA5 ECMWF terhadap data observasi dari Stamet mutiara Palu berada di rentang -2.6 sampai 9.9°C, kemudian terhadap data observasi dari Stamet Kasiguncu Poso berada di rentang -3.1 sampai 7.3°C, dan terhadap data observasi dari Stamet Sultan Bantilan Toli-Toli berada pada rentang -2.1 sampai 6.4°C. Perbedaan rentang minimum dan maksimum antara data reanalisis dan observasi menandakan bahwa data reanalisis dari ERA5 ECMWF tidak dapat langsung digunakan tanpa melakukan validasi. Metode sederhana yang dapat digunakan untuk bisa menggunakan data suhu udara permukaan reanalisis dari ERA5 ECMWF yaitu dengan menggunakan metode regresi linier.

E. Tren Suhu Udara di Provinsi Sulawesi Tengah Berdasarkan Data ERA5 ECMWF

Gambar 4(a) dan 4(b) merupakan peta analisis laju pertumbuhan suhu udara permukaan rata-rata dan peta analisis signifikan di Provinsi Sulawesi Tengah periode 1981–2019. Secara keseluruhan, suhu udara permukaan rata-rata di Provinsi Sulawesi Tengah signifikan mengalami peningkatan berkisar 0.015–0.045 per tahun. Peningkatan laju pertumbuhan suhu udara rata-rata tertinggi terjadi di sebagian Kabupaten Donggala dan Toli-Toli, dan terendah terjadi di sebagian besar Kabupaten Parigi Moutong, sebagian Kabupaten Donggala, Kabupaten Morowali Utara, Kabupaten Banggai, Kabupaten Banggai Kepulauan, dan Kabupaten Banggai Laut.



Gambar 4. (a) tren suhu udara rata-rata, (b) nilai signifikansi peningkatan tren

Figure 4. (a) the trend of the average air temperature, (b) the significance value of the increasing trend

IV. KESIMPULAN

Hasil validasi menunjukkan bahwa data suhu udara permukaan reanalisis dari ERA5 ECMWF dapat digunakan untuk memberikan informasi mengenai analisis tren yang terjadi di Provinsi Sulawesi Tengah berdasarkan validasi yang dilakukan antara data reanalisis terhadap data hasil observasi dari perwakilan Stamet yang memiliki ketersediaan data. Identifikasi perubahan iklim berdasarkan parameter suhu udara permukaan menggunakan data reanalisis dari ERA5 ECMWF dengan panjang data selama 39 tahun memberikan informasi bahwa perubahan suhu udara permukaan rata-rata telah terjadi. Informasi ini dapat dijadikan sebagai referensi bagi pemerintah dalam menentukan kebijakan dan masyarakat pada umumnya tentang perubahan iklim yang terjadi di Provinsi Sulawesi Tengah berdasarkan identifikasi parameter suhu udara permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH (ACKNOWLEDGEMENT)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan dan staff Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri atas

dukungan, saran, dan masukan serta sarana dalam melakukan kajian penelitian dan publikasi artikel ilmiah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para staff di Stasiun Meteorologi Mutiara Palu, Stasiun Meteorologi Sultan Bantilan Toli-Toli, dan Stasiun Meteorologi Kasiguncu Poso atas ketersediaannya dalam pemberian data untuk studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Mukmin, S. A., Wijaya, A. P., & Sukmono, A. (2016). Analisis Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Distribusi Suhu Permukaan dan Keterkaitannya Dengan Fenomena Urban Heat Island. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), 224–233.
- Alberto, F. J., Aitken, S. N., Alía, R., González-Martínez, S. C., Hämmnen, H., Kremer, A., Lefèvre, F., Lenormand, T., Yeaman, S., & Whetten, R. (2013). Potential for evolutionary responses to climate change—evidence from tree populations. *Global Change Biology*, 19(6), 1645–1661.
- Alfiandy, S., & Permana, D. S. (2020). Tren Curah Hujan Berbasis Data Sinoptik BMKG dan Reanalisis MERRA-2 NASA di Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 21(2), 63–72. <https://doi.org/https://orcid.org/0000-0002-8790-1834>

- Ambi, F. N., Sutadji, H. I., Geru, A. S., & Louk, A. C. (2020). Analisis Kecenderungan (Tren) Suhu Udara dan Curah Hujan Di Pulau Flores (Labuan Bajo, Ruteng, Maumere, dan Larantuka). *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 5(1), 42–56.
- Bazrafshan, J. (2017). Effect of air temperature on historical tren of long-term droughts in different climates of Iran. *Water resources management*, 31(14), 4683–4698.
- Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), 235–239.
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., & Peñuelas, J. (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(4), 1474–1478.
- Dede, M., Pramulatsih, G. P., Widiawaty, M. A., Ramadhan, Y. R., & Ati, A. (2019). Dinamika Suhu Permukaan dan Kerapatan Vegetasi di Kota Cirebon. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(1), 23–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.331>
- Fadholi, A. (2013). Uji Perubahan Rata-Rata Suhu Udara dan Curah Hujan di Kota Pangkalpinang. *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, 14(1), 11–25.
- Puspitasari, N., & Surendra, O. (2016). Analisis Tren Perubahan Suhu Udara Minimum dan Maksimum Serta Curah Hujan Sebagai Akibat Perubahan Iklim di Provinsi. *SAINS: Jurnal MIPA dan Pengajarannya*, 16(2), 66–72.
- Rejekiingrum, P. (2014). Dampak Perubahan Iklim terhadap Sumberdaya Air: Identifikasi, Simulasi, dan Rencana Aksi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(1), 1–15.
- Setiawan, O. (2012). Analisis variabilitas curah hujan dan suhu di Bali. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 9(1), 66–79.
- Sun, Y., Zhang, X., Ren, G., Zwiers, F. W., & Hu, T. (2016). Contribution of urbanization to warming in China. *Nature Climate Change*, 6(7), 706–709.
- Wang, F., Ge, Q., Wang, S., Li, Q., & Jones, P. D. (2015). A new estimation of urbanization's contribution to the warming trend in China. *Journal of Climate*, 28(22), 8923–8938.
- Wati, T., & Fatkhuroyan, F. (2017). Analisis Tingkat Kenyamanan di DKI Jakarta Berdasarkan Indeks THI (Temperature Humidity Index). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(1), 57-63. <https://doi.org/10.14710/jil.15.1.57-63>.
- Widiyanto, S., & Kurnia, W. G. (2020). Analisis Tingkat Kenyamanan Di Kota Manado Dan Wilayah Penyangganya Berdasarkan Indeks Thi (Temperature Humidity Index). *Megasains*, 11(2), 36–41.
- Wiweka, W. (2014). Pola Suhu Permukaan Dan Udara Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal. *Ecolab*, 8(1), 11–22.
- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., & Ciais, P. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35), 9326–9331.
- ERA5 ECMWF Land Hourly Data from 1950 to Present. 2m Temperature. Diakses pada tanggal 01 November 2020, dari <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>