



JURNAL RONA TEKNIK PERTANIAN
ISSN : 2085-2614; e-ISSN 2528 2654
JOURNAL HOMEPAGE : <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP>



Komparasi Dataset Suhu Udara Berbasis Penginderaan Jauh Dalam Mengestimasi Suhu Udara Bulanan di Provinsi Papua Barat

Arif Faisol^{1*)}, Bertha Ollin Paga¹⁾, Baso Daeng²⁾

¹Prodi Teknik Pertanian dan Biosistem – Universitas Papua, Jln. Gunung Salju Amban - Manokwari, Indonesia.

²Prodi D3 Budidaya Tanaman Pangan - Universitas Papua, Jln. Gunung Salju Amban - Manokwari, Indonesia.

*E-mail: arif.unipa@gmail.com

Abstrak

Pada umumnya data suhu udara diperoleh dari hasil pengamatan pada stasiun iklim Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Metode ini dapat digunakan untuk merepresentasikan suhu udara suatu wilayah yang berada pada radius ≤ 10 km dari lokasi stasiun iklim, sehingga dibutuhkan sebuah solusi alternatif untuk mendapatkan data suhu udara yang dapat merepresentasikan wilayah yang lebih luas, salah satunya memanfaatkan *dataset* suhu udara berbasis penginderaan jauh. Penelitian ini bertujuan membandingkan performa sejumlah *dataset* suhu udara berbasis penginderaan jauh, yaitu *Climatic Research Unit gridded Time Series* (CRU-TS), *Climatologies at High Resolution for the Earth Land Surface Areas* (CHELSA), dan TerraClimate dalam mengestimasi curah hujan bulanan di Provinsi Papua Barat. Penelitian ini terdiri atas 6 (enam) tahapan utama, yaitu; (1) inventarisasi data yang bertujuan mengumpulkan *dataset* suhu udara dan data suhu udara hasil perekaman pada *Automatic Weather Station* (AWS) tahun 1996 sampai tahun 2019, (2) ekstraksi data, (3) screening data untuk mengganti nilai ekstrim dengan nilai rata-rata, (4) evaluasi data untuk membandingkan *dataset* dengan data AWS, (5) komparasi data untuk membandingkan performa *dataset*, dan (6) rekomendasi yang bertujuan untuk menentukan *dataset* yang paling sesuai untuk digunakan di Provinsi Papua Barat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS sangat akurat dalam mengestimasi suhu udara bulanan di Provinsi Papua Barat yang ditunjukkan dengan nilai $RBIAS < 0,1$. Disamping itu CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS memiliki tingkat keeratan hubungan yang sedang terhadap data AWS dengan nilai $r = 0,36 - 0,68$. Sehingga TerraClimate, CHELSA, dan CRU-TS dapat digunakan sebagai solusi alternatif untuk mendapatkan informasi suhu udara bulanan di Provinsi Papua Barat.

Kata Kunci : *Climatic Research, Earth Land Surface Areas, TerraClimate, Automatic Weather Station*

Comparison of Remote Sensing-Based Air Temperature Dataset in Estimating Monthly Air Temperature in West Papua

Arif Faisol^{1*)}, Bertha Ollin Paga¹⁾, Baso Daeng²⁾

¹Prodi Teknik Pertanian dan Biosistem – Universitas Papua, Jln. Gunung Salju Amban - Manokwari, Indonesia.

²Prodi D3 Budidaya Tanaman Pangan - Universitas Papua, Jln. Gunung Salju Amban - Manokwari, Indonesia.

*E-mail: arif.unipa@gmail.com

Abstract

Air temperature is one of the important components in agriculture. Generally, air temperature data is obtained from climate stations of the Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency (BMKG). These methods represented an area within a radius of 10 km from the climate station, therefore an alternative solution is needed for a larger area. The utilization of the air temperature dataset is one alternative solution. This research aims to compare Climatic Research Unit gridded Time Series (CRU-TS), Climatologies at High Resolution for the Earth Land Surface Areas (CHELSA), and TerraClimate as an air temperature dataset in estimating the monthly temperature in West Papua. The main stages in this research are data inventory, data extraction, data screening, data evaluation, data comparison, and data recommendation. The data used in this research are CRU-TS, TerraClimate, CHELSA, and local AWS data recording from 1996 to 2019. The research showed that CRU-TS, TerraClimate, and CHELSA are very accurate in estimating the monthly temperature in West Papua as indicated by $RBIAS < 0.1$. Furthermore, CRU-TS, TerraClimate, and CHELSA have a moderate correlation with AWS data in estimating monthly air temperature with $r = 0.36 - 0.68$. Therefore, CRU-TS, TerraClimate, and CHELSA can be used as an alternative solution to obtain monthly air temperature information in West Papua.

Keywords : Climatic Research, Earth Land Surface Areas, TerraClimate, Automatic Weather Station

PENDAHULUAN

Suhu udara merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat penting pada bidang pertanian. Suhu udara sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan, perkembangan dan produksi tanaman (Liu et al., 2013; Hatfield & Prueger, 2015; Tamil Nadu Agricultural University, 2016) serta mempengaruhi hampir semua proses fisiologis tanaman mulai dari perkembangan fenotipik hingga reaksi katalis enzimatis dan proses fisik seperti transpirasi, respirasi, dan fotosintesis (Moore et al., 2021; Mondal et al., 2016; Porter & Semenov, 2005).

Secara konvensional data suhu udara diperoleh dari hasil pengamatan pada stasiun iklim yang dikelola oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Idealnya metode ini digunakan untuk merepresentasikan suhu udara suatu wilayah yang berada pada radius ≤ 10 km dari lokasi stasiun iklim, namun untuk keperluan praktis metode ini masih ditoleransi untuk digunakan pada wilayah yang berada pada radius 100 km dari lokasi stasiun iklim (*World Meteorological Organization*, 2010). Sehingga diperlukan sebuah solusi alternatif untuk mendapatkan

data suhu udara yang dapat merepresentasikan wilayah yang lebih luas, diantaranya dengan memanfaatkan dataset suhu udara berbasis penginderaan jauh.

Saat ini telah tersedia sejumlah *dataset* berbasis penginderaan jauh yang menyediakan data suhu udara global, diantaranya; *Climatic Research Unit gridded Time Series* (CRU TS), *Global Historical Climatology Network-Daily* (GHCN – D), *Global Historical Climatology Network-Monthly* (GHCN – M), *Global (Land) Precipitation and Temperature, Climatologies at High Resolution for the Earth Land Surface Areas* (CHELSA), dan TerraClimate. CRU TS menyediakan data suhu udara bulanan (Harris et al., 2020), GHCN – D menyediakan data suhu udara harian (Menne et al., 2012; Peterson & Vose, 1997), GHCN – M menyediakan data suhu udara bulanan (Lawrimore et al., 2011), *Global (Land) Precipitation and Temperature* menyediakan data suhu udara bulanan (National Center for Atmospheric Research Staff, 2020), CHELSA menyediakan data suhu udara bulanan (Karger et al., 2017), dan TerraClimate yang menyediakan data suhu udara bulanan (Abatzoglou et al., 2018). Komparasi dari *dataset* tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komparasi *dataset* suhu udara (National Center for Atmospheric Research Staff, 2020)

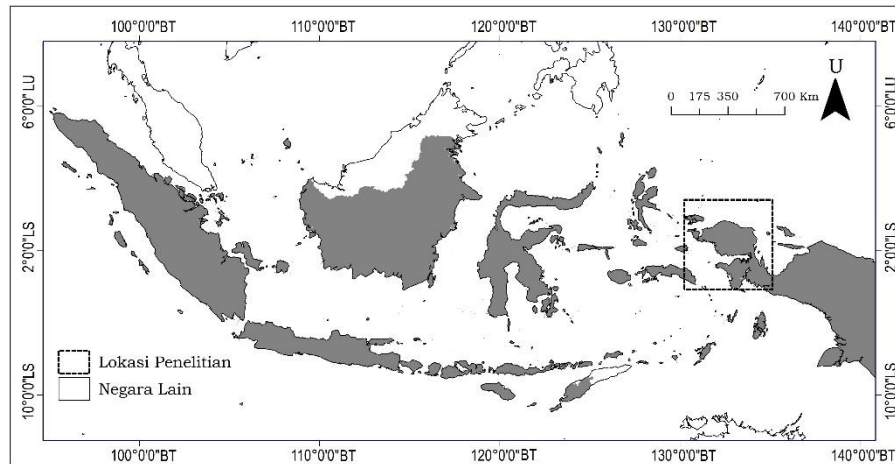
Dataset	Wilayah Liputan	Resolusi Spasial	Informasi Spasial
CRU-TS	Global	~50,5 km	Suhu udara minimum, suhu udara maksimum, dan suhu udara rata-rata
GHCN – D	Global	data titik (<i>point layer</i>)	Suhu udara rata-rata
GHCN – M	Global	data titik (<i>point layer</i>)	Suhu udara rata-rata
Global (land) precipitation and temperature	Global	~ 50,5 km	Suhu udara rata-rata
CHELSA	Global	~1 km	Suhu udara minimum, suhu udara maksimum, dan suhu udara rata-rata
TerraClimate	Global	~4 km	Suhu udara minimum, suhu udara maksimum

Sejumlah penelitian telah memanfaatkan dan menguji *dataset* suhu udara global tersebut. Kanda et al. (2020) melaporkan bahwa *dataset* CRU-TS memiliki error sebesar 0,75°C – 9,9°C dalam mengestimasi suhu udara bulanan di kawasan Himalaya Barat Laut – India. Penelitian yang dilakukan oleh Hassan et al. (2020) menunjukkan bahwa CRU TS memiliki error 1,00°C – 1,73°C dalam mengestimasi suhu udara maksimum bulanan dan memiliki error 0,90°C – 1,15°C dalam mengestimasi suhu udara minimum bulanan di Nigeria. Selanjutnya Muthoni (2020) melaporkan bahwa TerraClimate memiliki akurasi yang sangat tinggi dalam mengestimasi suhu udara bulanan di Afrika Barat dibandingkan dengan hasil observasi. Khaydov dan Gerlitz (2019) melaporkan bahwa data suhu udara dan curah hujan yang diestimasi CHELSA memiliki tingkat penyimpangan yang rendah dibandingkan data hasil pengamatan pada stasiun iklim.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan membandingkan performa CRU-TS, CHELSA, dan TerraClimate dalam mengestimasi curah hujan bulanan di Provinsi Papua Barat. Sehingga *dataset* yang memiliki performa terbaik dapat digunakan sebagai solusi alternatif untuk mendapatkan data suhu udara di Provinsi Papua Barat, khususnya wilayah yang tidak memiliki stasiun iklim.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Provinsi Papua Barat pada bulan Januari – Maret 2022. Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar. 1. Lokasi penelitian.

Penelitian ini terdiri atas 6 (enam) tahapan utama, yaitu; (1) inventarisasi data yang bertujuan mengumpulkan *dataset* suhu udara CHELSA versi 2.1, CRU TS versi 4.05, TerraClimate versi 1.0, dan data suhu udara hasil perekaman pada *Automatic Weather Station* (AWS) tahun 1996 sampai tahun 2019. Data suhu udara diperoleh dari 4 (empat) AWS, yaitu; Rendani – Kabupaten Manokwari, Jefman – Kabupaten Raja Ampat, Torea – Kabupaten Fakfak, dan Kaimana – Kabupaten Kaimana (2) ekstraksi data untuk mengekstrak data suhu udara berdasarkan lokasi AWS menggunakan metode *point to pixel*, (3) screening data untuk mengganti nilai ekstrim atau data *outlier* dengan nilai rata-rata, (4) evaluasi data untuk membandingkan *dataset* suhu udara dengan data hasil perekaman pada AWS, (5) komparasi data untuk membandingkan performa *dataset* suhu udara dalam mengestimasi suhu udara bulanan di Provinsi Papua Barat berdasarkan parameter statistik, dan (6) rekomendasi yang bertujuan untuk menentukan *dataset* suhu udara yang paling sesuai untuk digunakan di Provinsi Papua Barat. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 2.

Data ekstrim atau data *outlier* dihitung menggunakan persamaan (1). Selanjutnya data ekstrim diganti dengan nilai rata-rata (Ott & Longnecker, 2016)(Randolph & Myers, 2013).

$$x > \mu \pm 3\sigma \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: x adalah data *outlier* ($^{\circ}\text{C}$), μ adalah nilai rerata data suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), dan σ adalah nilai penyimpangan standar data suhu udara ($^{\circ}\text{C}$).

Evaluasi *dataset* suhu udara dilakukan menggunakan 4 (empat) parameter statistik, yaitu; *mean absolute error* (MAE), *root mean square error* (RMSE), *relative bias* (RBIAS), dan *Pearson correlation coefficient* (r). Parameter tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \dots\dots\dots (2)$$

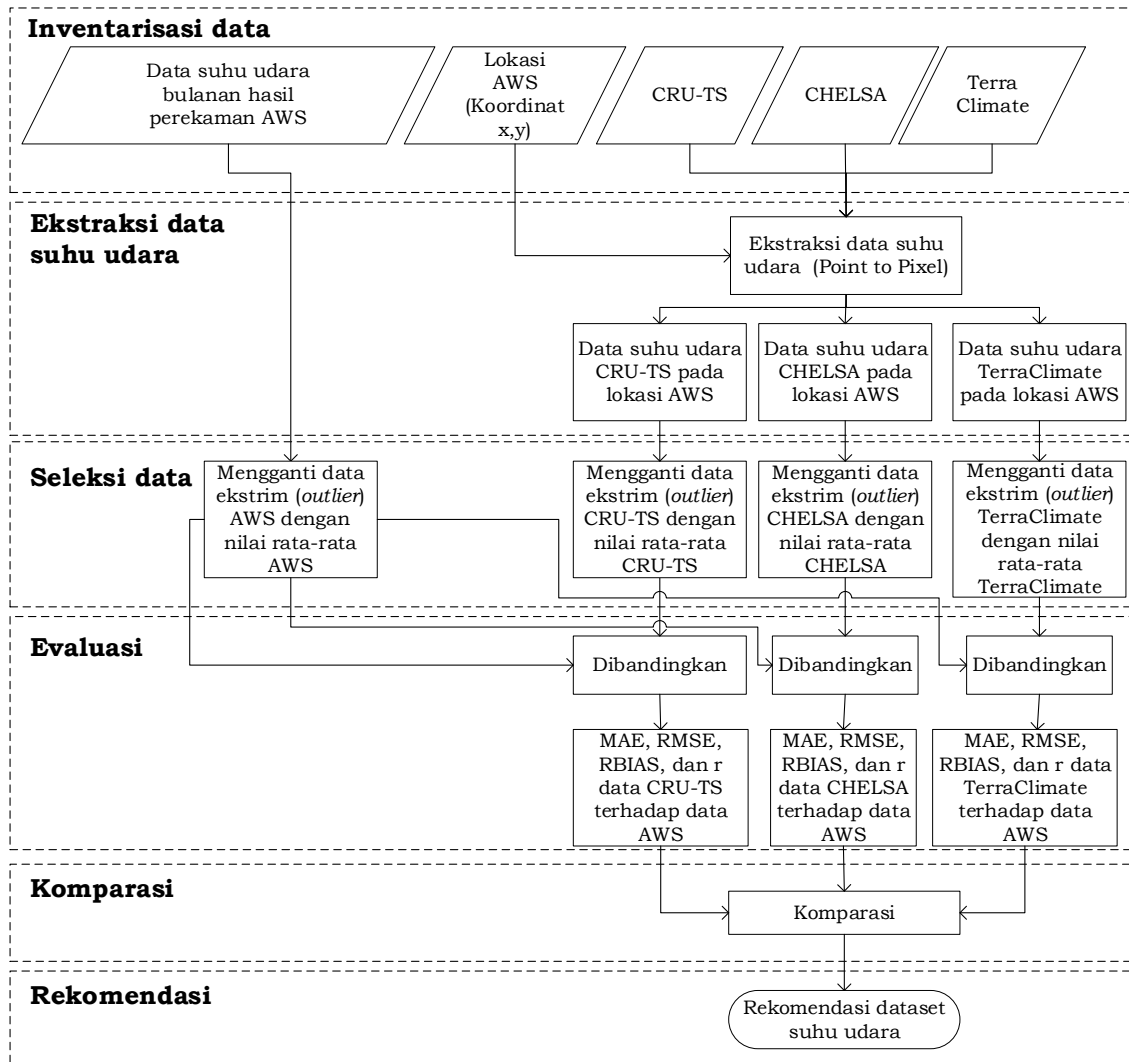
$$RMSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$RBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \dots\dots\dots (4)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan: y_i adalah nilai *dataset* suhu udara pada waktu ke- i ($^{\circ}\text{C}$) ; $\bar{y}$ adalah nilai suhu udara rerata *dataset* pada periode tertentu ($^{\circ}\text{C}$) ; x_i adalah nilai suhu udara perekaman AWS pada waktu ke- i ($^{\circ}\text{C}$) ; $\bar{x}$ adalah nilai suhu udara rerata perekaman AWS pada periode tertentu ($^{\circ}\text{C}$); dan n adalah jumlah data.

Tingkat keeratan hubungan (r) antara *dataset* dan data AWS disajikan pada Tabel 1, dan tingkat akurasi RBIAS disajikan pada Tabel 2.



Gambar. 2. Diagram alir penelitian.

Tabel 1. Tingkat keeratan hubungan antara *dataset* dan data AWS (Jackson 2009)

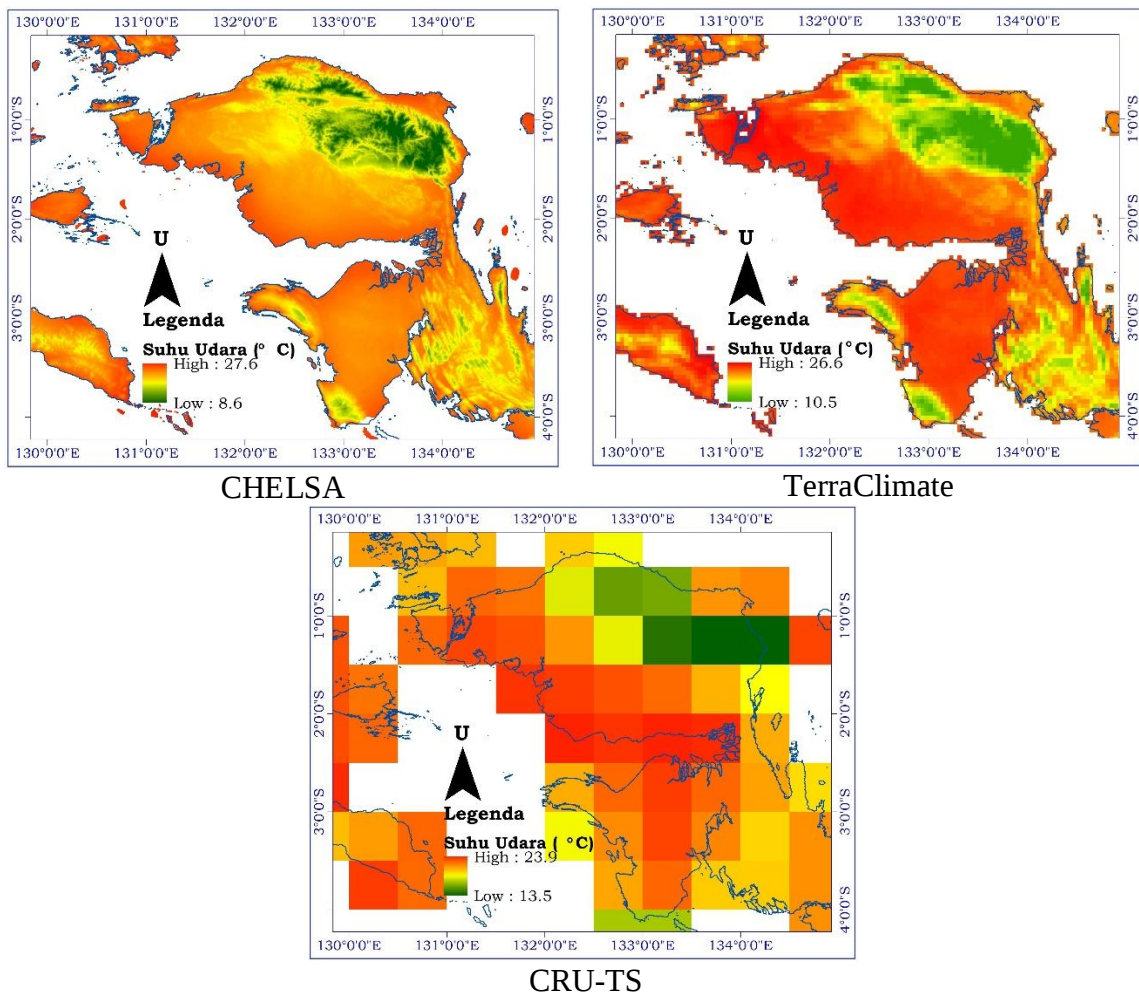
<i>Pearson correlation coefficient (r)</i>	Tingkat hubungan
0,70 – 1,00	Kuat
0,30 – 0,69	Sedang
0,00 – 0,29	Lemah

Tabel 2. Tingkat akurasi RBIAS (Moriassi et al. 2007)

RBIAS	Tingkat akurasi
< 0,10	Sangat akurat
0,10 – 0,15	Akurat
0,15 – 0,25	Cukup akurat
> 0,25	Kurang akurat

HASIL DAN PEMBAHASAN

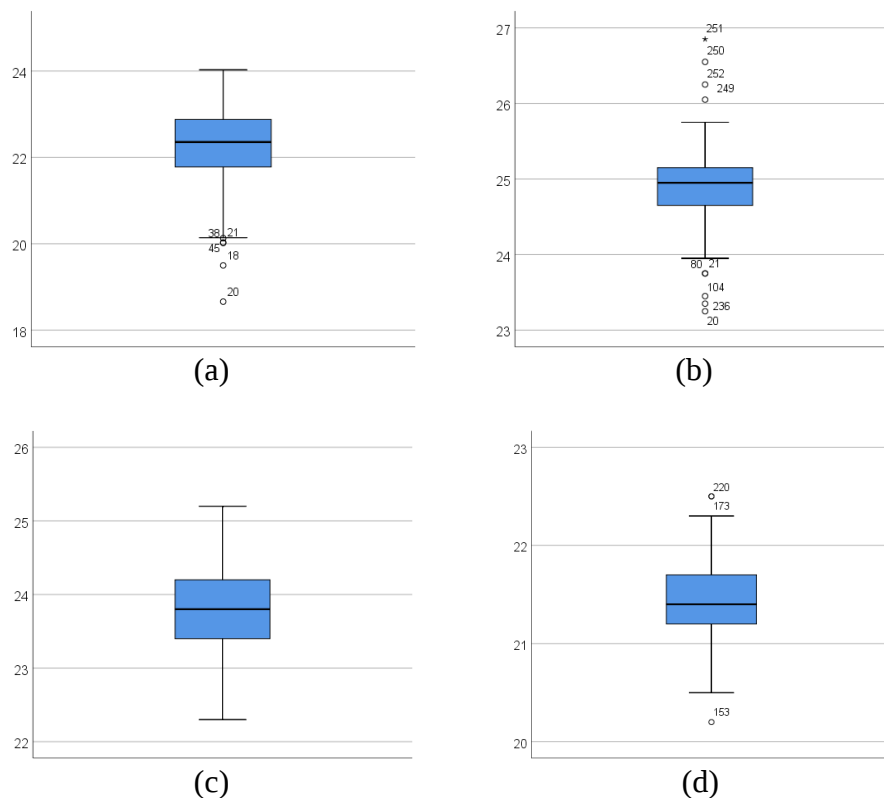
CHELSEA, TerraClimate, dan CRU-TS dapat menggambarkan distribusi suhu udara di Provinsi Papua Barat dengan sangat baik. Namun distribusi spasial suhu udara CHELSA lebih detail dibandingkan TerraClimate dan CRU-TS. Hal ini disebabkan CHELSA memiliki resolusi spasial lebih tinggi dibandingkan TerraClimate dan CRU-TS. Komparasi distribusi spasial suhu udara minimum di Provinsi Papua Barat hasil estimasi CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS perekaman bulan Desember 2019 disajikan pada Gambar 3.



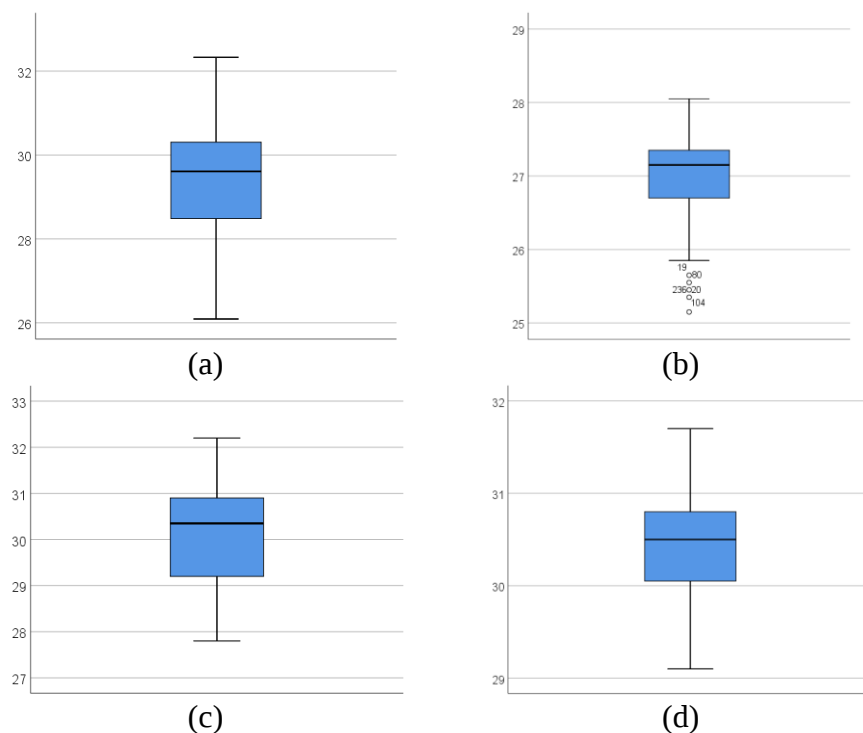
Gambar 3. Distribusi spasial suhu udara minimum di Provinsi Papua Barat

Semua *dataset* memiliki nilai ekstrim dalam mengestimasi suhu udara bulanan di Provinsi Papua Barat, dan frekuensi nilai ekstrim suhu udara minimum lebih tinggi dari pada suhu udara maksimum. Berdasarkan hasil analisis, nilai ekstrim suhu udara

minimum dan maksimum pada lokasi AWS Torea – Fakfak disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

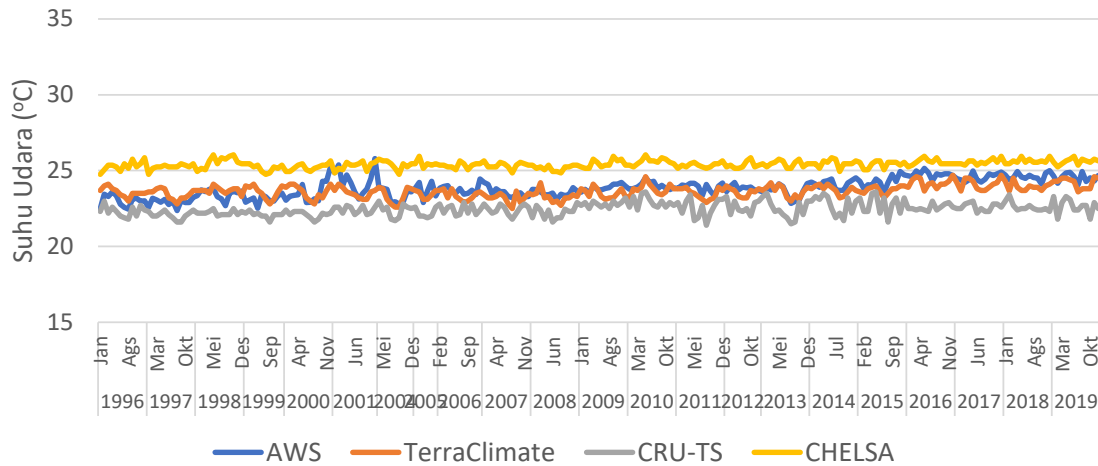


Gambar. 4. Box plot suhu udara minimum: (a) AWS, (b) CHELSA, (c) TerraClimate, (d) CRU-TS (Analisis, 2022)

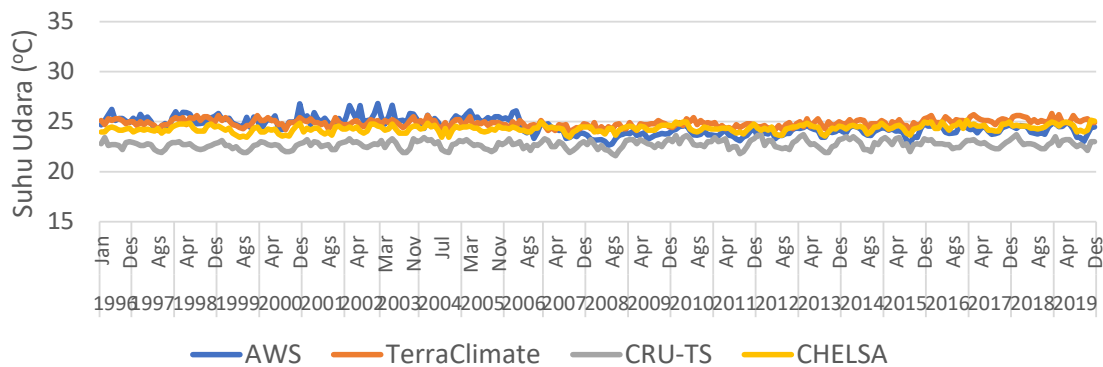


Gambar. 5. Box plot suhu udara minimum suhu udara maksimum: (a) AWS, (b) CHELSA, (c) TerraClimate, (d) CRU-TS (Analisis, 2022)

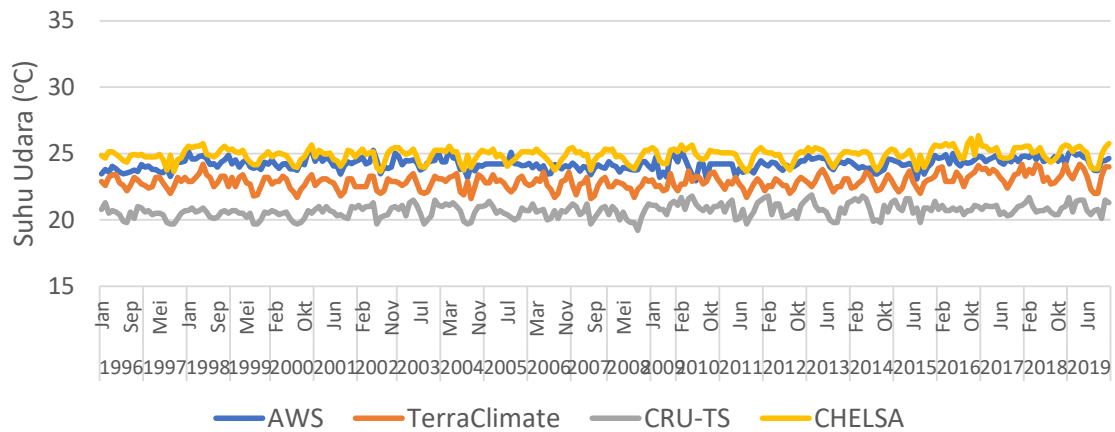
Pada umumnya *dataset* CHELSA dan TerraClimate *overestimated* dalam mengestimasi suhu udara minimum bulanan di Provinsi Papua Barat dibanding data hasil perekaman pada AWS, sedangkan CRU-TS cenderung *underestimated*. Namun CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS cenderung *underestimated* dalam mengestimasi suhu udara maksimum bulanan di Provinsi Papua Barat. Komparasi suhu udara bulanan antara data AWS, CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS perekaman tahun 1996 – 2019 disajikan pada Gambar 6 sampai Gambar 13.



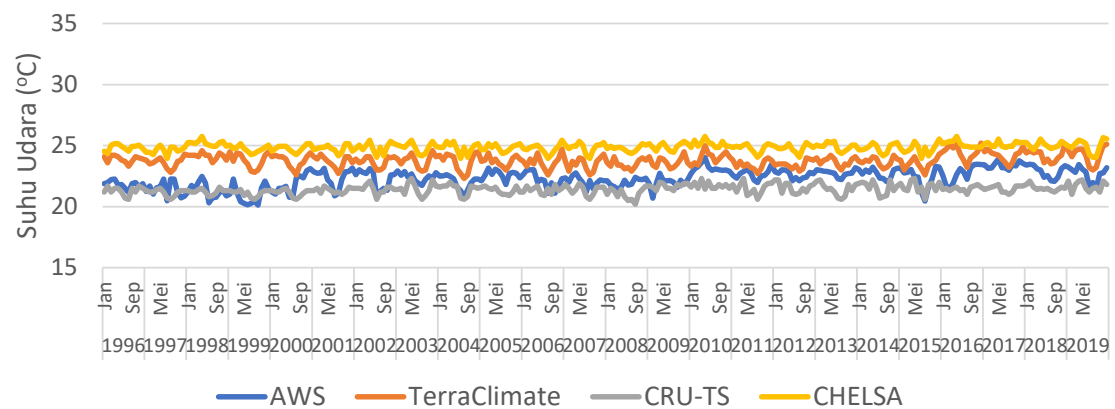
Gambar 6. Grafik perbandingan data suhu udara minimum bulanan antara CHELSA, TerraClimate, CRU-TS, dan data AWS Rendani – Kabupaten Manokwari perekaman 1996 – 2019



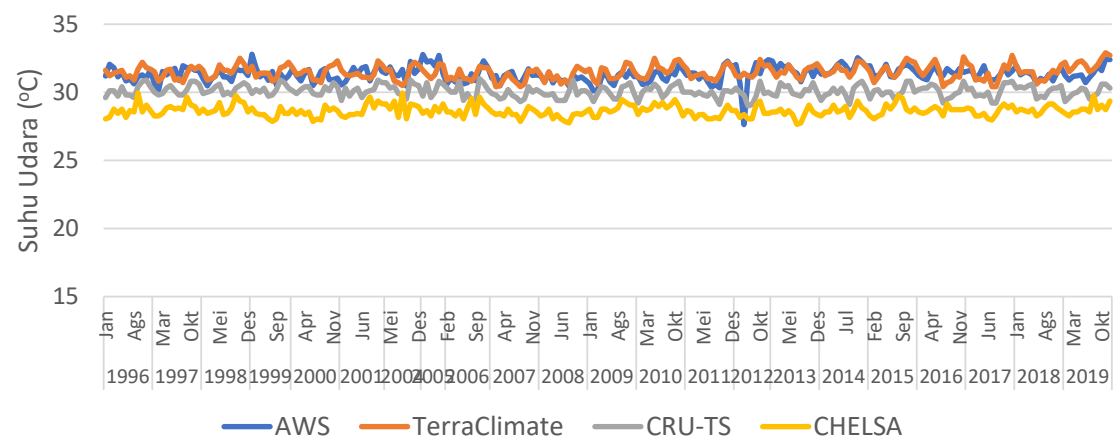
Gambar 7. Grafik perbandingan data suhu udara minimum bulanan antara CHELSA, TerraClimate, CRU-TS, dan data AWS Jefman – Kabupaten Raja Ampat perekaman 1996 – 2019



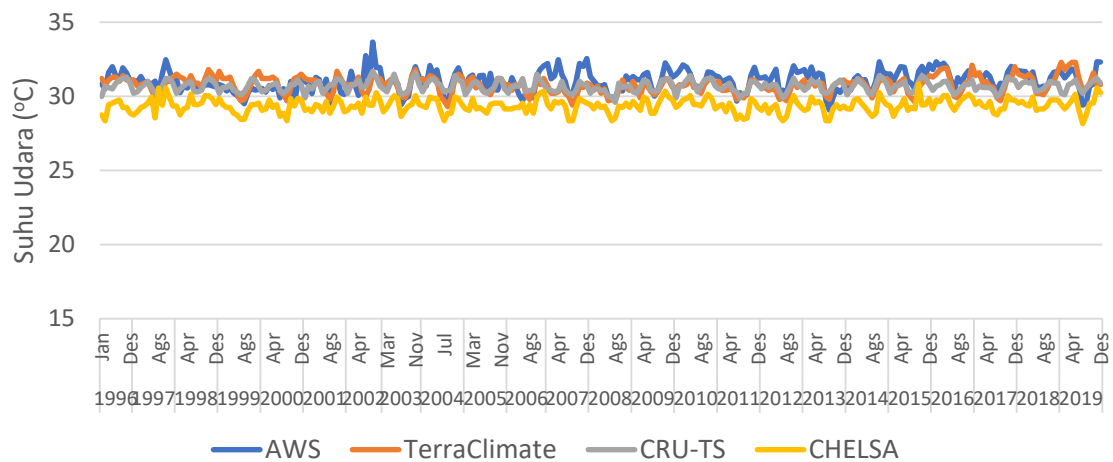
Gambar 8. Grafik perbandingan data suhu udara minimum bulanan antara CHELSA, TerraClimate, CRU-TS, dan data AWS Kaimana – Kabupaten Kaimana perekaman 1996 – 2019



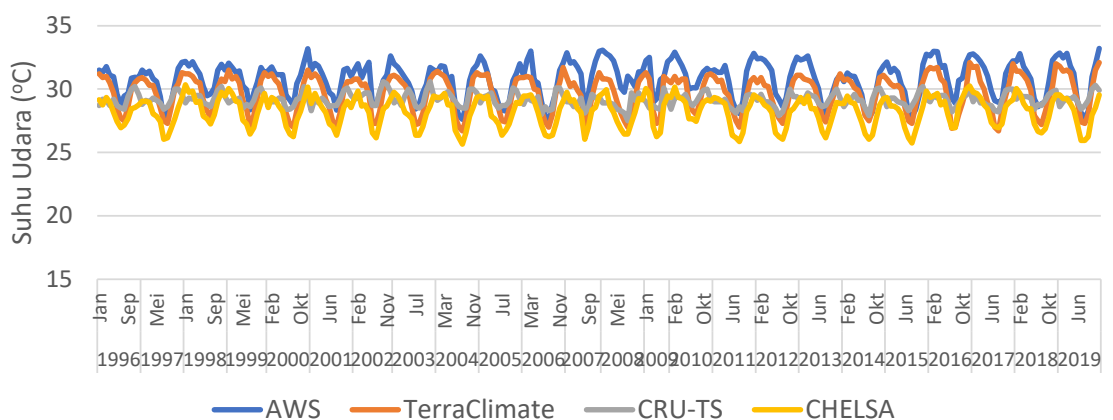
Gambar 9. Grafik perbandingan data suhu udara minimum bulanan antara CHELSA, TerraClimate, CRU-TS, dan data AWS Torea – Kabupaten Fakfak perekaman 1996 – 2019



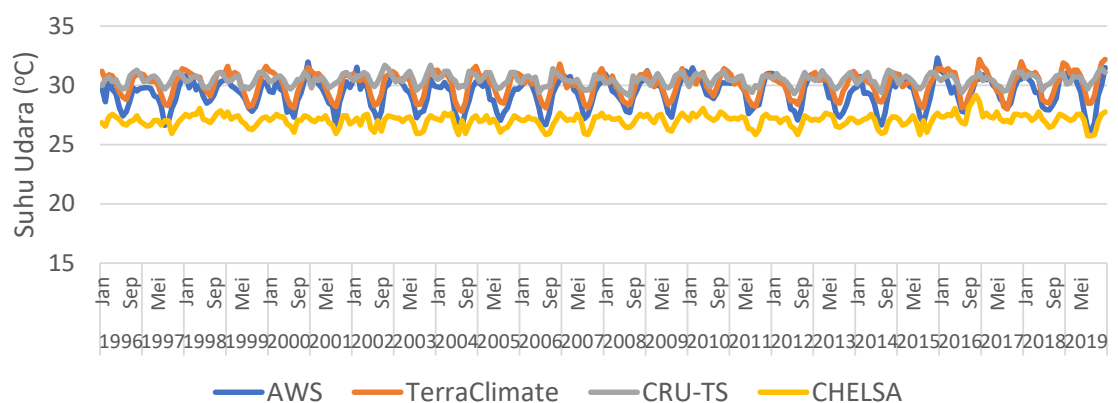
Gambar 10. Grafik perbandingan data suhu udara maksimum bulanan antara CHELSA, TerraClimate, CRU-TS, dan data AWS Rendani – Kabupaten Manokwari perekaman 1996 – 2019



Gambar 11. Grafik perbandingan data suhu udara minimum bulanan antara CHELSA, TerraClimate, CRU-TS, dan data AWS Jefman – Kabupaten Raja Ampat perekaman 1996 – 2019



Gambar 12. Grafik perbandingan data suhu udara maksimum bulanan antara CHELSA, TerraClimate, CRU-TS, dan data AWS Kaimana – Kabupaten Kaimana perekaman 1996 – 2019



Gambar 13. Grafik perbandingan data suhu udara maksimum bulanan antara CHELSA, TerraClimate, CRU-TS, dan data AWS Torea – Kabupaten Fakfak perekaman 1996 – 2019

Berdasarkan hasil uji statistik, CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS sangat akurat dalam mengestimasi suhu udara minimum bulanan dan suhu udara maksimum bulanan di Provinsi Papua Barat yang ditunjukkan dengan nilai RBIAS < 0,1 serta memiliki tingkat keeratan hubungan yang sedang terhadap data AWS yang ditunjukkan dengan nilai $r = 0,36 - 0,45$ dalam mengestimasi suhu udara minimum bulanan dan $r = 0,48 - 0,68$ dalam mengestimasi suhu udara maksimum bulanan. Hal ini relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kanda et al. (2020), Hassan et al. (2020), Khaydov dan Gerlitz (2019), dan Muthoni (2020) bahwa data CRU-TS, TerraClimate, dan CHELSA memiliki akurasi yang sangat tinggi dalam mengestimasi suhu udara bulanan.

Meskipun CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS sangat akurat dalam mengestimasi suhu udara minimum bulanan dan suhu udara maksimum bulanan di Provinsi Papua Barat, namun TerraClimate memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan CRU-TS dan CHELSA dalam mengestimasi suhu udara minimum bulan dan suhu udara maksimum bulanan di Provinsi Papua Barat yang ditunjukkan dengan nilai MAE, RMSE, dan RBIAS terendah. Sedangkan CRU-TS memiliki akurasi terendah dalam mengestimasi suhu udara minimum bulanan di Provinsi Papua Barat dan CHELSA memiliki akurasi terendah dalam mengestimasi suhu udara maksimum bulanan di Provinsi Papua Barat. Komparasi hasil uji statistik suhu udara minimum bulanan dan suhu udara maksimum bulanan CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS perekaman tahun 1996 – 2019 disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil uji statistik data suhu udara minimum CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS dibanding data AWS

Lokasi	Dataset	Indeks			
		MAE	RMSE	RBIAS	r
Rendani - Manokwari	TerraClimate	0,46	0,56	0,01	0,58
	CRU-TS	1,38	1,51	0,06	0,42
	CHELSA	1,56	1,66	0,07	0,47
Jefman - Raja Ampat	TerraClimate	0,69	0,83	0,01	0,39
	CRU-TS	1,78	1,96	0,07	0,20
	CHELSA	0,67	0,81	0,01	0,26
Kaimana - Kaimana	TerraClimate	1,34	1,44	0,06	0,44
	CRU-TS	3,52	3,56	0,15	0,37
	CHELSA	0,71	0,81	0,03	0,58
Torea - Fakfak	TerraClimate	1,49	1,67	0,07	0,38
	CRU-TS	0,97	1,12	0,04	0,46
	CHELSA	2,58	2,68	0,12	0,42
Rata-rata	TerraClimate	0,99	1,12	0,04	0,45
	CRU-TS	1,91	2,04	0,08	0,36
	CHELSA	1,38	1,49	0,05	0,43

Tabel 4. Hasil uji statistik data suhu udara maksimum CHELSA, TerraClimate, dan CRU-TS dibanding data AWS

Lokasi	Dataset	Indeks			
		MAE	RMSE	RBIAS	r
Rendani - Manokwari	TerraClimate	0,44	0,59	0,01	0,44
	CRU-TS	1,28	1,39	0,05	0,34
	CHELSA	2,70	2,75	0,11	0,36
Jefman - Raja Ampat	TerraClimate	0,56	0,70	0,01	0,50
	CRU-TS	0,57	0,71	0,01	0,50
	CHELSA	1,65	1,74	0,07	0,66
Kaimana - Kaimana	TerraClimate	1,10	1,27	0,04	0,90
	CRU-TS	1,73	2,05	0,07	0,48
	CHELSA	2,54	2,60	0,10	0,93
Torea - Fakfak	TerraClimate	0,82	0,96	0,03	0,87
	CRU-TS	1,24	1,50	0,05	0,59
	CHELSA	2,31	2,48	0,10	0,72
Rata-rata	TerraClimate	0,73	0,88	0,02	0,68
	CRU-TS	1,21	1,41	0,05	0,48
	CHELSA	2,30	2,39	0,10	0,67

KESIMPULAN

TerraClimate, CHELSA, dan CRU-TS dapat digunakan sebagai solusi alternatif untuk mendapatkan informasi suhu udara bulanan di Provinsi Papua Barat karena sangat akurat dalam mengestimasi suhu udara bulanan di Provinsi Papua Barat. Namun TerraClimate dan CHELSA lebih direkomendasikan dibandingkan CRU-TS karena mampu menyajikan informasi suhu udara lebih detail.

UCAPAN TERIMA KASIH / ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Papua yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Asisten Ahli tahun anggaran 2022 dengan nomor kontrak SP-164/UN42/PG/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a High-resolution Global Dataset of Monthly Climate and Climatic Water Balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset. *Scientific Data*, 7(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
- Hassan, I., Kalin, R. M., White, C. J., & Aladejana, J. A. (2020). Evaluation of Daily Gridded Meteorological Datasets over the Niger Delta Region of Nigeria and Implication to Water Resources Management. *Atmospheric and Climate Sciences*, 10(01), 21–39. <https://doi.org/10.4236/acs.2020.101002>
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature Extremes: Effect on Plant Growth and Development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Jackson, S. L. (2009). *Research Methods and Statistics : A Critical Thinking Approach*

- (3rd ed.). Wadsworth. www.ichapters.com
- Kanda, N., Negi, H. S., Rishi, M. S., & Kumar, A. (2020). Performance of Various gridded Temperature and Precipitation Datasets over Northwest Himalayan Region. *Environmental Research Communications*, 2, 20. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab9991>
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrer, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4, 1–20. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Khaydarov, M., & Gerlitz, L. (2019). Climate Variability and Change over Uzbekistan – an Analysis Based on High Resolution CHELSA Data. *Central Asian Journal of Water Research*, 5(2), 1–19. <https://doi.org/10.29258/cajwr/2019-r1.v5-2/1-19.eng>
- Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Gleason, B. E., Williams, C. N., Wuertz, D. B., Vose, R. S., & Rennie, J. (2011). An Overview of the Global Historical Climatology Network Monthly Mean Temperature Data set, version 3. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116(19), 1–18. <https://doi.org/10.1029/2011JD016187>
- Liu, Q. H., Wu, X., Li, T., Ma, J. Q., & Zhou, X. B. (2013). Effects of Elevated Air Temperature on Physiological Characteristics of Flag Leaves and Grain Yield in Rice. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(2), 85–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000200001>
- Menne, M. J., Durre, I., Vose, R. S., Gleason, B. E., & Houston, T. G. (2012). An Overview of the Global Historical Climatology Network-Daily Database. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 29(7), 897–910. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00103.1>
- Mondal, S., Ghosal, S., & Barua, R. (2016). Impact of Elevated Soil and Air Temperature on Plants Growth, Yield and Physiological Interaction: a Critical Review. *Scientia Agriculturae*, 13(1), 293–305. <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016>
- Moore, C. E., Meacham-Hensold, K., Lemonnier, P., Slattery, R. A., Benjamin, C., Bernacchi, C. J., Lawson, T., & Cavanagh, A. P. (2021). The Effect of Increasing Temperature on Crop Photosynthesis: From Enzymes to Ecosystems. *Journal of Experimental Botany*, 72(8), 2822–2844. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab090>
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885–900.
- Muthoni, F. (2020). Spatial-temporal trends of rainfall, maximum and minimum temperatures over West Africa. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 2960–2973. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2997075>
- National Center for Atmospheric Research Staff. (2020). *The Climate Data Guide: Precipitation Data Sets: Overview & Comparison table*. Agustus. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/precipitation-data-sets-overview-comparison-table>
- Ott, R. L., & Longnecker, M. (2016). *An Introduction to Statistical Methods & Data Analysis* (7th ed.). Cengage Learning.
- Peterson, T. C., & Vose, R. S. (1997). An overview of the global historical climatology network-daily database. *Bulletin of The American Meteorological Society*, 78(12), 2837–2850. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-11-00103.1>
- Porter, J. R., & Semenov, M. A. (2005). Crop responses to climatic variation.

- Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2021–2035. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1752>
- Randolph, K. A., & Myers, L. L. (2013). *Basic Statistics in Multivariate Analysis* (1st ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199764044.001.0001>
- Tamil Nadu Agricultural University. (2016). *Agrometeorology: Temperature and Plant Growth*. TNAU Agritech Portal. http://www.agritech.tnau.ac.in/agriculture/agri_agrometeorology_temp.html
- World Meteorological Organization. (2010). Commission for Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 1064). In *Fifteenth session - Abridged final report with resolutions and recommendations* (Issue 1064). http://www.wmo.int/pages/prog/www/CIMO/CIMO15-WMO1064/1064_en.pdf