



Variasi dan Trend Suhu Udara Permukaan di Pulau Jawa

Suwignyo Prasetyo^{1*}, Ulil Hidayat², Yosafat Donni Haryanto³, Nelly Florida Riama⁴

^{1,2,3}Prodi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten

⁴Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten

Article Info

Article History

Dikirim 15 Januari 2020

Diterima 20 Juni 2020

Terbit 15 Januari 2021

Keywords:

SUP;
 Pulau Jawa;
 variasi;
 trend

Abstrak

Telah dilakukan analisis variasi temporal dan spasial beserta dengan trend suhu udara permukaan (SUP) di Pulau Jawa selama periode tahun 1990-2019 menggunakan data observasi BMKG dan data pemodelan reanalisis (GHCN_CAMS, ERA-5, JRA-55, dan GISTEMP-v4). Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi peningkatan SUP dalam 30 tahun sebesar 0,11-1,24°C. Variasi spasial menunjukkan bahwa daerah dengan suhu udara tertinggi terdapat di Pulau Jawa sebelah utara bagian timur dan terendah di dataran tinggi Pulau Jawa bagian barat. SUP di Pulau Jawa tertinggi terjadi pada periode bulan SON dan terendah pada periode bulan JJA. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa semua data observasi BMKG mengalami trend peningkatan kecuali untuk Banyuwangi. Trend peningkatan SUP per tahun berkisar antara 0,017-0,048°C.

Abstract

Analysis of temporal and spatial variations and trends in surface air temperature (SAT) in Java during the period 1990-2019 has been carried out using BMKG observation data and reanalysis modeling data (GHCN_CAMS, ERA-5, JRA-55, and GISTEMP-v4). The results show that the increase in SAT in 30 years is 0.11-1.24 °C. The spatial variation shows that the areas with the highest air temperature are in the northern part of Java Island and the lowest in the highlands of the western part of Java Island. The highest SAT in Java occurs in the SON period and the lowest is in the JJA month period. The results of statistical tests show that all BMKG observation data have an upward trend except for Banyuwangi. The trend of increasing SAT per year ranges from 0.017-0.048 °C.

© 2021. Published by UNNES. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

PENDAHULUAN

Iklim dapat didefinisikan sebagai kondisi rata-rata suhu udara, curah hujan, tekanan udara, arah angin, kelembapan udara, dan parameter iklim lainnya dalam jangka waktu yang panjang (Tjasnyono, 2004). Perubahan iklim dapat dinyatakan sebagai perubahan pada iklim yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga mengubah komposisi atmosfer serta memperbesar keragaman iklim pada periode yang cukup panjang (Houghton, 1996).

Perubahan iklim regional dan global men-

dapat perhatian yang signifikan selama beberapa dekade terakhir. Menurut Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fifth Assessment Report (AR5), SUP rata-rata global telah meningkat sebesar 0,85 ($\pm 0,2$)°C selama periode tahun 1880 hingga 2012 (IPCC, 2013). Di wilayah tropis, kenaikan suhu udara diikuti dengan peningkatan intensitas curah hujan akibat dari tingginya penguapan di laut (Chou et al., 2009; Held & Soden, 2006). Indonesia yang merupakan negara kepulauan termasuk dalam salah satu negara yang sangat rentan terkena dampak perubahan iklim mengingat negara Indonesia adalah negara kepulauan dengan laut yang sangat luas.

* E-mail : prasetyosuwignyo8@gmail.com

Address : Jl. Perhubungan I Nomor 5, Kompleks BMKG,
 Kelurahan Pondok Betung, Kecamatan Pondok Aren
 Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten

Salah satu pulau yang terdapat di Indonesia serta memiliki peran yang cukup penting adalah Pulau Jawa. Selain sebagai tempat ibukota Indonesia (Jakarta), Pulau Jawa memiliki jumlah penduduk yang besar dan merupakan kawasan ekonomi yang penting (Hidayat et al., 2016). Seiring dengan meningkatnya sektor industri dan pertumbuhan penduduk, hal tersebut berpotensi menimbulkan dampak kepada lingkungan baik langsung maupun tidak langsung, salah satunya adalah potensi perubahan iklim di Pulau Jawa. Terkait dengan hal tersebut, variabilitas suhu udara yang berkaitan dengan curah hujan menjadi penting karena dapat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi dan produksi pertanian (Marjuki et al., 2016), khususnya dalam hal ini di Pulau Jawa

Salah satu parameter untuk melihat adanya perubahan iklim adalah suhu udara permukaan (SUP). Peningkatan SUP menjadi salah satu indikator terhadap pemanasan global akibat dari ketidakseimbangan energi yang masuk dan keluar di atmosfer bumi (Puspitasari & Surendra, 2016). Oleh karena atmosfer bersifat dinamis, maka SUP dapat mempengaruhi parameter cuaca dan iklim yang lain, seperti curah hujan, kelembapan, dan penguapan.

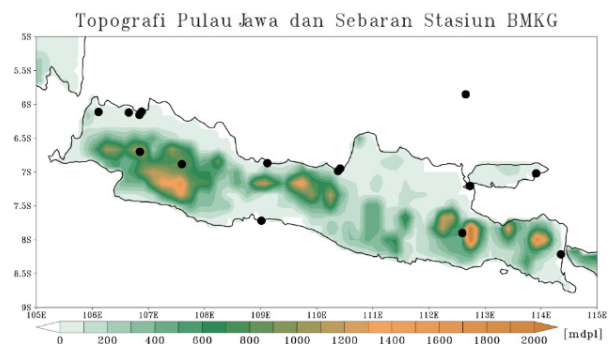
Beberapa penelitian sebelumnya sebagian besar menggunakan data pengideraan jarak jauh untuk menganalisis suhu permukaan (*Land Surface Temperature/LST*) maupun SUP (Ayuningtyas, 2015; Dede et al., 2019; Devi et al., 2020; Firdaus et al., 2019; Wiweka, 2014) peningkatan suhu udara secara signifikan dapat memunculkan fenomena urban heat island yang dalam jangka panjang mampu mengubah iklim mikro. Estimasi suhu permukaan dan kerapatan vegetasi diperoleh dari data satelit penginderaan jauh secara multi-temporal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika suhu permukaan dan kerapatan vegetasi di Kota Cirebon. Penelitian ini memanfaatkan data citra Landsat-5 TM dan Landsat-8 OLI yang divalidasi dengan data MODIS pada periode tahun 1998, 2008, serta 2018. Nilai suhu permukaan diekstraksi dengan radiative transfer equation, sedangkan informasi kerapatan vegetasi diperoleh dengan *normalized difference vegetation index* (NDVI). Belum banyak yang mengkaji perubahan SUP berdasarkan data historis pengamatan secara langsung. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji variasi SUP beserta trend perubahannya dalam beberapa dekade terakhir berdasarkan data observasi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Penelitian mengenai SUP menggunakan data observasi langsung telah dilakukan oleh (Prasetyo

et al., 2021) dengan menganalisis enam stasiun BMKG di Pulau Jawa. Meskipun demikian, penelitian tersebut terbatas hanya mengkaji variasi temporal SUP. Oleh sebab itu, penelitian ini mengkaji dengan menambahkan lokasi stasiun BMKG serta beberapa data pemodelan untuk melihat variasi suhu udara secara temporal maupun spasial. Uji statistik non-parametrik diterapkan untuk melihat trend perubahan atau kecenderungan data selama periode tahun 1990-2019.

METODE

Penelitian ini menggunakan data observasi dari beberapa stasiun BMKG serta data pemodelan reanalisis GHCN-CAMS, ERA-5, dan JRA-55 yang akan dijelaskan pada bagian berikut. Data reanalisis merupakan data pemodelan *Numerical Weather Prediction* (NWP) yang diasimilasikan dengan data observasi selama beberapa dekade atau lebih sehingga produk data yang dihasilkan dapat digunakan untuk analisis variasi, perubahan, dan proyeksi iklim secara global maupun regional pada wilayah tertentu (Esri_admin, 2010; Thejll & Gleisner, 2015). Domain penelitian berada pada rentang 105-115° BT dan 5-9° LS (Gambar 1) dengan periode bulanan selama 30 tahun (1990-2019). Periode waktu selama 30 tahun dipilih karena dapat merepresentasikan kondisi klimatologi pada wilayah tertentu (Institute, 2016)



Gambar 1. Domain penelitian beserta topografi (NOAA, 1998) Pulau Jawa dan sebaran stasiun BMKG yang dipilih dalam penelitian ini. Sebaran stasiun di Jawa bagian barat (SRG, CGK, KMY, TJO, TSL, CTK, BDG), Jawa bagian tengah (CLC, TGL, SMG, TJM), dan Jawa bagian timur (TJR, MLG, BWG, KLG, dan SKP).

Data BMKG

Pengamatan terhadap unsur-unsur cuaca dilakukan setiap hari secara rutin oleh stasiun-stasiun BMKG untuk keperluan pelaporan cuaca berita sinoptik yang merupakan salah satu tugas pokok dan

fungsi BMKG (BMKG, 2006). Pengukuran SUP dilakukan pada ketinggian 1,20-1,25 meter dari permukaan tanah menggunakan termometer yang diletakkan dalam sangkar meteorologi. Data hasil pengamatan diarsipkan dalam pelaporan berita Fklim.71 yang merupakan kumpulan data cuaca dalam satu bulan (BMKG, 2016). Stasiun BMKG yang dianalisis dipilih berdasarkan ketersediaan data secara lengkap selama 30 tahun (Tabel 1).

Data Reanalisis GHCN-CAMS

GHCN-CAMS merupakan produk dari National Center for Environmental Prediction (NCEP) yang berisi data suhu udara dengan resolusi spasial $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (Fan & van den Dool, 2008). Data ini merupakan kombinasi dari observasi stasiun global (Global Historical Climatology Network version 2/GHCN-v2) dengan monitoring anomali klimatologi (Climate Anomaly Monitoring System/CAMS) (Ge et al., 2019).

Data Reanalisis ERA-5

ERA-5 merupakan produk data reanalisis beresolusi $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ dari European Center for Medium-Range Forecast (ECMWF) yang berisi kumpulan parameter cuaca untuk semua lapisan atmosfer. SUP diukur berdasarkan analisis variasi empat dimensi dengan rentang jeda 12 jam (Dee et al., 2011; Hersbach et al., 2020). ERA-5 merupakan kelanjutan dari prodek ERA-Interim yang berhenti semenjak Agustus 2019.

Tabel 1. Profil geografis stasiun BMKG yang dipilih dalam penelitian ini

Nama Stasiun	Kode	Lon (°BT)	Lat (°LS)	Elevasi (mdpl)
Serang	SRG	106.11	6.11	100
Cengkareng	CGK	106.65	6.12	11
Kemayoran	KMY	106.84	6.15	4
Tj. Priok	TJO	106.88	6.1	3
TangSel	TSL	106.75	6.26	27
Citeko	CTK	106.85	6.7	920
Bandung	BDG	107.6	6.88	791
Cilacap	CLC	109.01	7.72	8
Tegal	TGL	109.12	6.87	1
Semarang	SMG	110.81	6.98	6
Tj. Emas	TJM	110.42	6.95	2
Tj. Perak	TJR	112.73	7.2	3
Malang	MLG	112.6	7.9	590
Banyuwangi	BWG	114.35	8.22	52
Kalianget	KLG	113.91	7.04	3
Sangkapura	SKP	112.66	5.85	3

Data Reanalisis JRA-55

JRA-55 merupakan produk reanalisis dengan resolusi grid $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ yang diproduksi oleh Japan Meteorological Agency (JMA). Data pada produk ini dikembangkan berdasarkan asimilasi data dengan penyesuaian skema radiasi dan adveksi serta koreksi bias variasi empat dimensi (Harada et al., 2016; Kobayashi et al., 2015).

Data Reanalisis GISTEMP-v4

Global Institute for Space Studies (GISS) Surface Temperature Analysis ver.4 (GISTEMP v4) merupakan produk dari GISS, National Aeronautics and Space Administration (NASA) beresolusi $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ grid. GISTEMP v4 diestimasi berdasarkan perubahan suhu permukaan global dari dataset stasiun meteorologi NOAA GHCN v4 dan ERSST-v5 (untuk area lautan) (Hansen et al., 2010; Lenssen et al., 2019).

Data observasi BMKG dan GISTEMP-v4 diolah secara temporal untuk mengetahui fluktuasi data dan anomali perubahan SUP, sedangkan data reanalisis diolah secara spasial untuk mengetahui distribusi dari SUP di Pulau Jawa. Visualisasi data reanalisis secara spasial juga didasarkan pada periode dekadal (10 tahunan) dan musiman (Desember Januari Februari / DJF, Maret April Mei / MAM, Juni Juli Agustus / JJA, dan September Oktober November / SON) untuk mengetahui variasi secara historis maupun secara klimatologi musimnya. Pengolahan data secara spasial dibatasi hanya pada suhu udara di atas Pulau Jawa, sehingga suhu udara yang berada pada di atas area lautan (ERA-5 dan JRA-55) kami eliminasi agar visualisasi data dapat dipahami dengan baik.

Uji statistik dilakukan untuk melihat trend atau kecenderungan data selama 30 tahun. Identifikasi trend dilakukan dengan menggunakan uji non parametrik karena sesuai untuk satu variabel dengan data yang tidak selalu terdistribusi secara normal (Kundzewicz & Robson, 2004). Dalam hal ini, uji non parametrik dilakukan menggunakan metode Mann-Kendall test (MK-test) (Mann, 1945; Kendall, 1975) dan estimasi nilai Sens Slope (Sen, 1968). MK-test dan Sens Slope dipilih karena dianggap paling sesuai untuk menganalisis perubahan iklim atau mendeteksi diskontinuitas iklim (Chrysoulakis et al., 2001) dan telah banyak dipakai untuk mendeteksi trend pada time series data meteorologi (Chrysoulakis et al., 2001; Diniardi et al., 2011; Ge et al., 2019; Gocic & Trajkovic, 2013; Haryanto, 2019; Laddimath et al., 2019; Malik et al., 2019; Najib & Astuti, 2014; Victoria et al., 1998). Berikut prosedur MK-test yang telah dite-

rapkan oleh (Diniardi et al., 2011) dan (Ge et al., 2019).

1. Merumuskan hipotesis
 $H_0 : Z = \text{normal (tidak terdapat trend)}$
 $H_1 : Z = \text{tidak normal (terdapat trend)}$
2. Menentukan signifikan level (α)
 Dalam studi ini, kami menggunakan $\alpha = 1\%$ dan 5%
 $Z_{(\alpha/2)} < Z < Z_{(\alpha/2)}$ (1)
 H_0 ditolak apabila $|Z| > Z_{(\alpha/2)}$
3. Menentukan nilai statistik S dan $VAR(S)$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{jika } x_j - x_i > 0 \\ 0, & \text{jika } x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{jika } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Nilai varians S dikalkulasi sebagai berikut:

$$VAR(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(t_i+5)}{18} \quad (4)$$

4. Menentukan nilai Z

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{jika } S > 0 \\ 0, & \text{jika } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{jika } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Jika nilai Z_s positif (negatif) maka trend mengalami peningkatan (penurunan).

5. Menguji hipotesis dan menarik kesimpulan.

Besaran nilai trend linear dalam sebuah deret waktu ditentukan menggunakan estimasi Sen's Slope (Sen, 1968). Berikut prosedurnya yang telah diterapkan oleh (Ge et al., 2019):

Pengukuran pada lokasi tertentu menghasilkan nilai n pada waktu $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$. Perhitungan estimasi Slope diperoleh dari $N = n(n-1)/2$.

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{t_j - t_k} \text{ dimana } i = 1, \dots, N \quad (6)$$

untuk semua $j > k$ dan $k = 1, 2, \dots, (n-1)$ dan $j = 2, 3, \dots, n$, dimana x_j dan x_k merupakan pengukuran pada waktu yang sesuai dengan t_j dan t_k masing-masing.

Median dari nilai N pada Q_i merupakan *slope*-nya, berikut persamaannya:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[\frac{N+1}{2}]} & \text{jika } N \text{ ganjil} \\ \frac{Q_{[N/2]} + Q_{[(N+1)/2]}}{2} & \text{jika } N \text{ genap} \end{cases} \quad (7)$$

Data yang telah diuji secara statistik kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif.

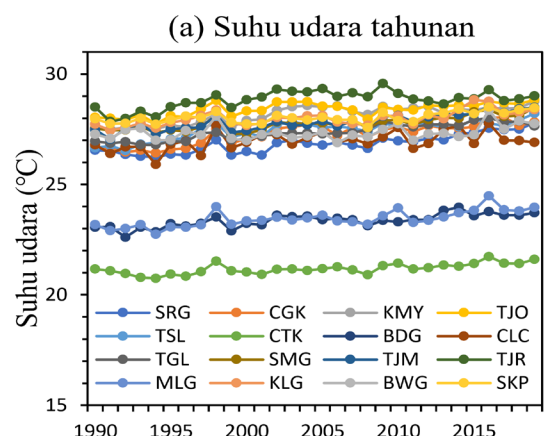
HASIL DAN PEMBAHASAN

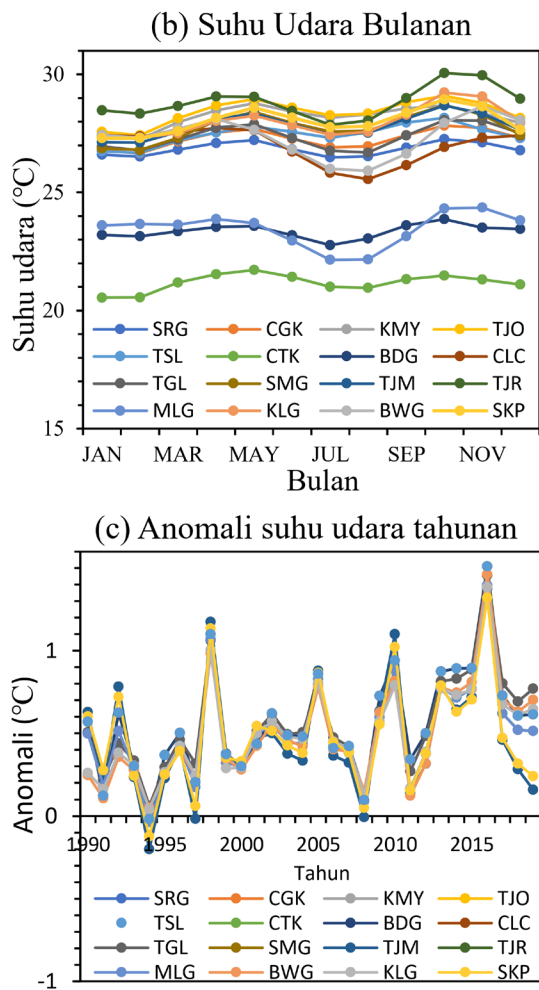
Variasi Temporal dan Spasial

Variasi temporal suhu udara selama 30 tahun tertera pada Gambar 2. Data BMKG menunjukkan bahwa suhu udara tahunan dari semua stasiun mengalami peningkatan selama periode tahun 1990-2019 (Gambar 2a). Sebagian besar fluktuasi suhu udara tahunan berkisar antara 25,5-29,5°C, kecuali untuk MLG, BDG, dan SRG. Hal ini berkaitan dengan perbedaan elevasi stasiun, dimana semakin tinggi suatu tempat maka suhu udara akan berkurang. Fluktuasi suhu udara tertinggi terdapat di TJR (28-29,5°C), sedangkan suhu udara terendah terjadi di CTK (21,5-22°C).

Pola fluktuasi suhu udara bulanan di semua stasiun hampir sama, dengan pola bimodial memiliki dua puncak dan dua lembah (Gambar 2b). Sebagian besar menunjukkan bahwa puncak tertinggi suhu udara berada pada SON, sedangkan terendah pada JJA. Pulau Jawa yang berada di daerah tropis belahan bumi selatan, mengakibatkan suhu udara lebih tinggi pada musim SON daripada MAM, serta lebih rendah pada musim JJA daripada DJF. Selain itu, posisi geografis Pulau Jawa yang lebih dekat dengan Benua Australia menyebabkan pergerakan massa udara saat musim dingin Australia lebih dingin daripada saat musim dingin Asia.

Data GISSTEMP-v4 menunjukkan bahwa anomali SUP secara keseluruhan di Pulau Jawa hampir sama polanya. Anomali positif cukup signifikan terjadi pada tahun 1998, 2010, dan 2016 (Gambar 2c). Secara umum, Pulau Jawa mengalami anomali peningkatan suhu. Fluktuasi anomali suhu udara berdasarkan data GISSTEMP-v4 hampir sama dengan data observasi pada Gambar 2a, kecuali untuk SMG dan TJM. Hal tersebut bisa disebabkan karena resolusi grid data GISSTEMP-v4 yang cukup kasar sehingga tidak merepresentasikan titik secara akurat.





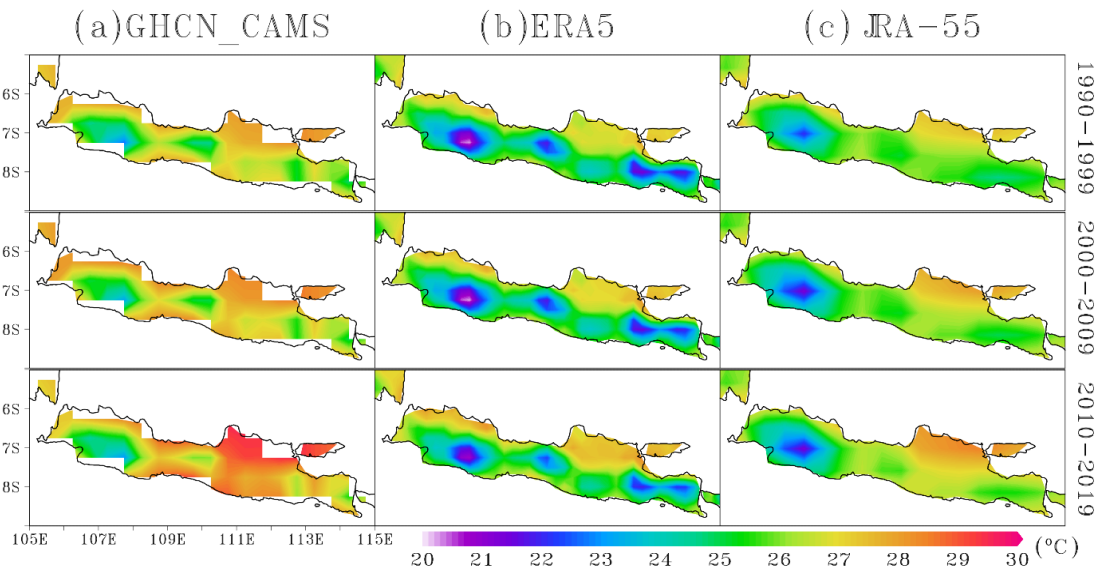
Gambar 2. Variasi temporal SUP di Pulau Jawa. (a) suhu udara tahunan dan (b) suhu udara bulanan merupakan data observasi BMKG, sementara (c) anomali suhu udara tahunan merupakan data pemodelan GISTEMP-v4.

Visualisasi data secara spasial dekadal tertera pada Gambar 4. Secara umum, ketiga data pemodelan reanalisis menunjukkan adanya perubahan

suhu udara secara spasial pada periode waktu 10 tahunan. Variasi suhu tertinggi berada pada wilayah utara bagian timur dan terendah terdapat pada wilayah barat bagian tengah (wilayah dataran tinggi). Distribusi SUP yang tidak merata dapat dipengaruhi oleh peningkatan suhu permukaan laut secara regional (Caesar et al., 2011).

Berdasarkan penelitian (Najib & Astuti, 2014) terkait dengan variasi dan trend suhu permukaan laut di wilayah Indonesia menunjukkan bahwa terdapat peningkatan secara signifikan suhu permukaan laut terutama di perairan dalam (*inner sea*) bagian timur (Laut Biak, Selat Makassar, Halmahera, dan Laut Banda). Sehingga, variasi SUP yang lebih tinggi di Pulau Jawa bagian utara sebelah timur dipengaruhi oleh peningkatan suhu permukaan laut karena pada wilayah ini lebih dekat dengan Laut Banda.

(Ge et al., 2019) menyatakan bahwa GHCN_CAMS dan JRA-55 cukup baik dalam merepresentasikan SUP di daerah tropis Semenanjung Indocina. Meskipun demikian, hal tersebut tidak cukup akurat jika dibandingkan dengan data suhu udara di Pulau Jawa. Analisis secara visual menunjukkan bahwa GHCN_CAMS cukup baik untuk merepresentasikan suhu udara di daerah dengan nilai yang lebih tinggi, namun sangat overestimate di daerah dengan suhu rendah seperti dataran tinggi. JRA-55 tidak cukup baik dalam merepresentasikan keduanya, underestimate di daerah dengan suhu tinggi namun masih sedikit overestimate di wilayah dengan suhu rendah seperti dataran tinggi. Sementara itu, ERA-5 cukup baik dalam merepresentasikan variasi suhu udara di Pulau Jawa. Variasi spasial dari beberapa pemodelan menunjukkan bahwa SUP di Pulau Jawa mengalami peningkatan dalam periode tahun 1990-2019.



Gambar 4. Suhu udara spasial di Pulau Jawa berdasarkan periode dekadal (10 tahunan).

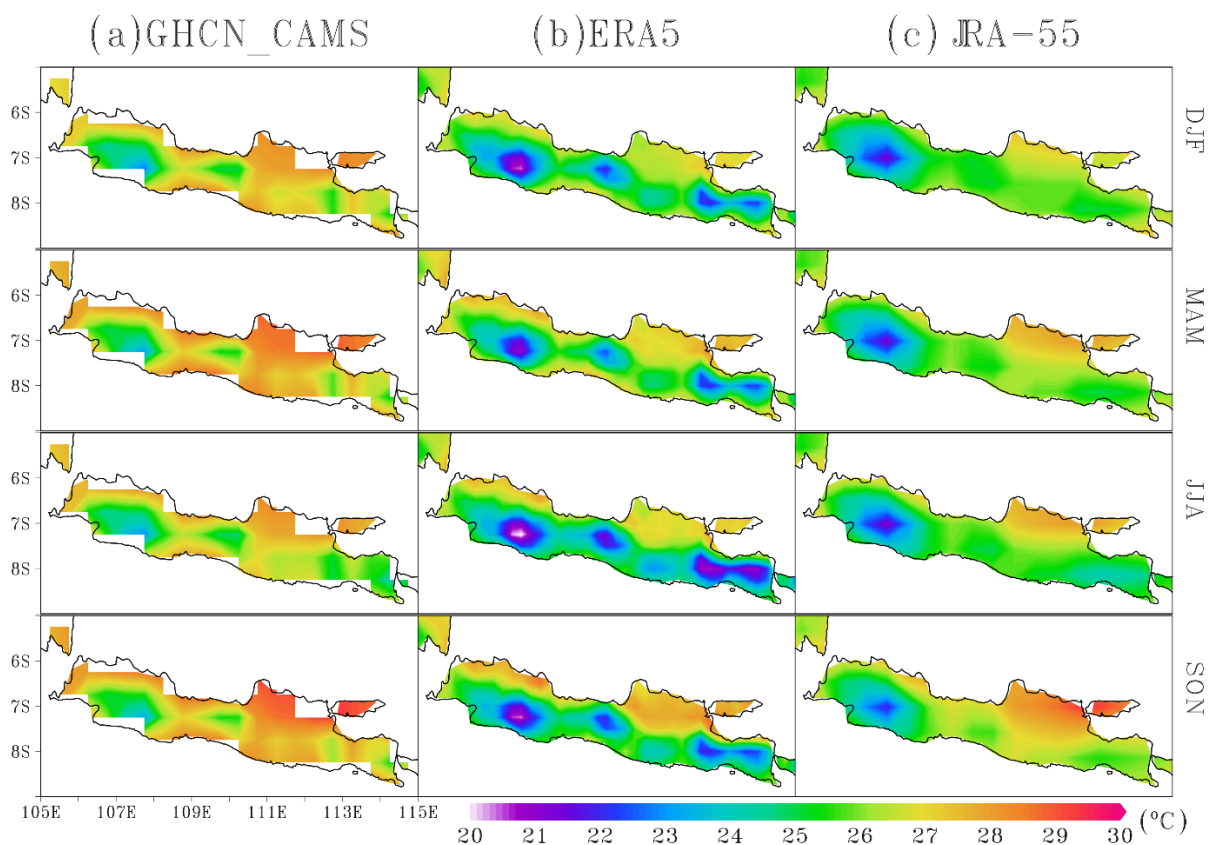
Variasi suhu udara spasial musiman tertera pada Gambar 5. Berbeda dengan variasi pola curah hujan, variasi suhu udara memiliki nilai tertinggi pada musim transisi yaitu periode SON, sedangkan variasi terendah terjadi pada musim kemarau, yaitu periode JJA. Selain disebabkan oleh pergerakan semu matahari, variasi musiman suhu udara juga dapat dipengaruhi oleh adanya variabilitas monsunal (Ge et al., 2019), khususnya dalam hal ini di Pulau Jawa.

Pergerakan massa udara dari Benua Australia saat bulan JJA mengakibatkan Pulau Jawa mengalami suhu udara lebih rendah daripada saat musim dingin Asia. Suhu udara lebih dingin saat musim kemarau atau musim dingin Australia karena massa udara yang bergerak dari Benua Australia (JJA) bersifat dingin dan kering (intrusi suhu dingin), sedangkan massa udara yang bergerak saat musim dingin Asia (DJF) membawa massa udara dengan mengandung uap air yang cukup melimpah sehingga bersifat lebih hangat. Uap air tersebut diperoleh dari evaporasi air laut sepanjang lintasan angin monsun yang melewati lautan luas dari Laut Cina Selatan hingga Laut Jawa, sehingga pada bulan DJF Pulau Jawa akan mengalami musim penghujan. Pada musim transisi yaitu SON dan MAM, variasi suhu udara cenderung lebih tinggi pada periode SON daripada MAM. Hal ini disebabkan

oleh posisi geografis Pulau Jawa yang berada pada selatan garis ekuator. Pada periode SON, matahari bergerak ke selatan sehingga Pulau Jawa yang berada di belahan bumi selatan menerima energi panas matahari yang lebih tinggi daripada saat musim transisi MAM. Sebaliknya, saat musim transisi MAM matahari bergerak menuju utara, sehingga posisi yang lebih jauh dari Pulau Jawa menyebabkan sudut sinar datang dari matahari tidak sebesar ketika bertransisi menuju selatan.

Trend Data 30 Tahun

Hasil perhitungan MK-test dengan significant level sebesar 1% serta tambahan kolom perubahan suhu selama 30 tahun (ΔT) tertera pada Tabel 2. Hasil perhitungan dari data semua stasiun BMKG menunjukkan adanya trend atau kecenderungan, kecuali untuk BWG. Nilai Z_s dan Q bernilai positif secara keseluruhan menunjukkan bahwa suhu udara di Pulau Jawa mengalami peningkatan di semua wilayah. P-value sebagian besar memenuhi significant level, kecuali untuk BWG karena nilai p-value sebesar 0,09 tidak memenuhi significant level baik pada pengujian 1% maupun 5% (tidak ditampilkan). Hal tersebut menyatakan bahwa data di BWG tidak signifikan dan tidak terdapat trend atau kecenderungan selama periode tahun 1990-2019.



Gambar 5. Suhu udara spasial di Pulau Jawa berdasarkan periode musiman

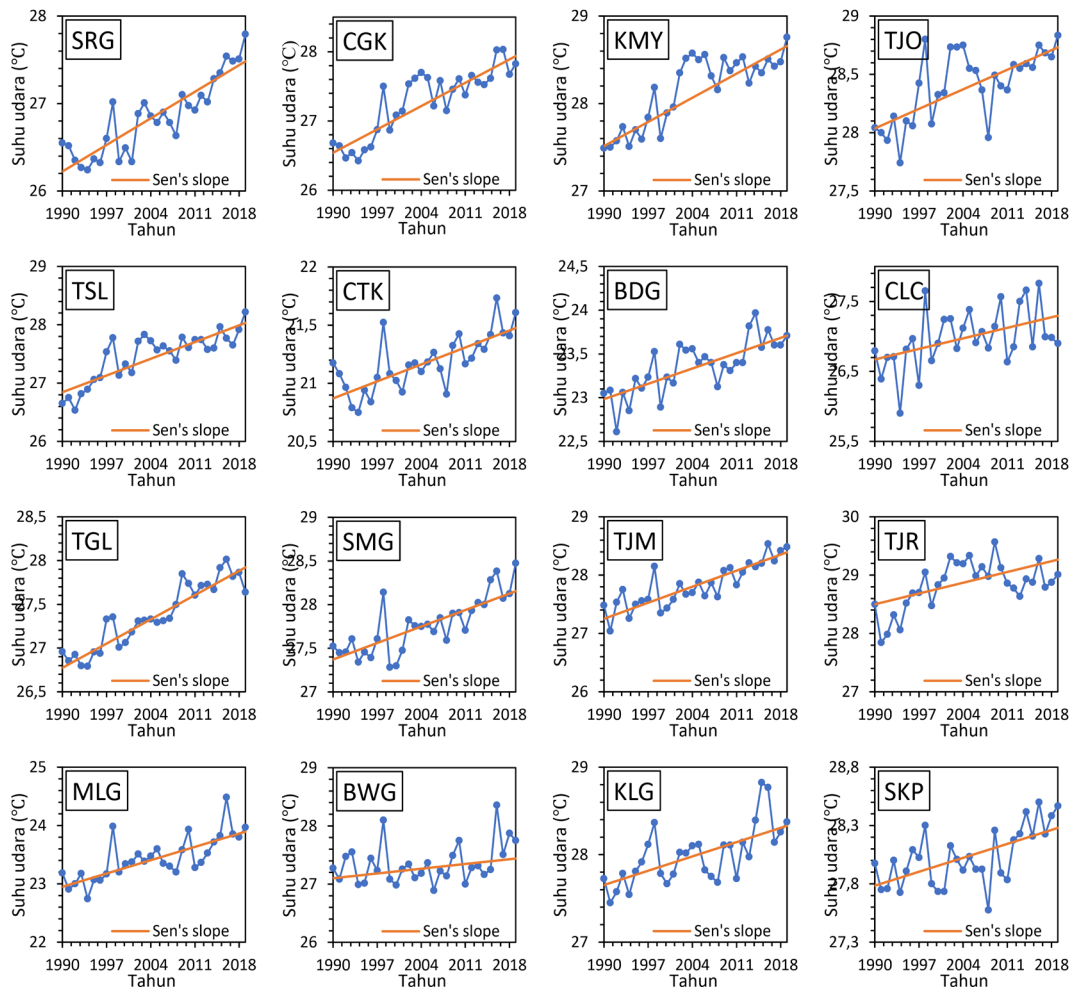
Tabel 2. Hasil MK-test dan estimasi Sen's Slope

Nama Stasiun	Z_s	p-value (<0,01)	Q (°C/ thn)	ΔT ('19-90)
SRG	0,683	<0,0001	0,043	1,24
CGK	0,660	<0,0001	0,048	1,14
KMY	0,601	<0,0001	0,039	1,27
TJO	0,502	0,000	0,024	0,79
TSL	0,635	<0,0001	0,041	1,57
CTK	0,569	<0,0001	0,021	0,43
BDG	0,593	<0,0001	0,025	0,66
CLC	0,356	0,006	0,022	0,11
TGL	0,732	<0,0001	0,040	0,68
SMG	0,635	<0,0001	0,027	0,95
TJM	0,701	<0,0001	0,039	1,00
TJR	0,347	0,007	0,026	0,51
MLG	0,603	<0,0001	0,033	0,78
BWG	0,221	0,090	0,012	0,48
KLK	0,503	0,000	0,023	0,65
SKP	0,419	0,001	0,017	0,49

Trend SUP mengalami peningkatan dengan nilai sebesar 0,017-0,048°C/tahun. Kenaikan terendah terjadi di SKP, sedangkan tertinggi terjadi di CGK dimana masing-masing mengalami kenaikan selama 30 tahun sebesar 0,49 dan 1,15°C. Hasil perhitungan MK-test dari data observasi BMKG mengindikasikan bahwa telah terjadi perubahan iklim berdasarkan parameter SUP selama periode tahun 1990-2019 di Pulau Jawa dengan masing-masing nilai peningkatan per tahun berbeda untuk setiap wilayah.

SIMPULAN

Penelitian ini mengkaji variasi temporal dan spasial beserta dengan trend atau kecenderungan SUP di Pulau Jawa berdasarkan data observasi BMKG dan data pemodelan reanalisis (GHCN_CAMS, ERA-5, JRA-55, dan GISTEMP) selama periode tahun 1990-2019. Variasi temporal tahunan menunjukkan bahwa terdapat peningkatan suhu udara dalam periode 30 tahun di semua stasiun dengan rentang nilai sebesar 0,11-1,24°C. Variasi spasial SUP dari semua data reanalisis menunjukkan pola yang hampir sama, meskipun



Gambar 6. Grafik hasil MK-test dari data observasi stasiun BMKG dengan significant level 1%.

dengan nilai yang berbeda. Pola yang dimaksud adalah daerah dengan SUP tertinggi terdapat di Pulau Jawa sebelah utara bagian timur, sedangkan terendah terdapat di dataran dinggi Jawa bagian barat. Variasi musiman menunjukkan bahwa SUP di Pulau Jawa tertinggi terjadi pada bulan transisi SON dan terendah terjadi pada bulan JJA. Hasil uji statistik menggunakan MK-test dan estimasi Sen's Slope menunjukkan bahwa semua data dari stasiun BMKG mengalami trend peningkatan kecuali untuk BWG. Peningkatan tren setiap tahun tertinggi terjadi di CGK dan terendah terjadi di SKP dengan nilai masing-masing 0,017 hingga 0,048 / tahun. Penelitian ini menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan iklim di Pulau Jawa berdasarkan data SUP selama periode waktu 1990-2019. Dengan demikian, kami menghimbau kepada seluruh pembaca agar lebih perhatian terhadap isu perubahan iklim serta kami menyarankan kepada pemangku kebijakan agar dalam membuat suatu kebijakan harus berdasarkan pertimbangan terbaik khususnya terkait dengan perubahan iklim di Pulau Jawa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayuningtyas, V. A. (2015). *PENGOLAHAN DATA THERMAL (TIRS) CITRA SATELIT LANDSAT 8 UNTUK TEMPERATUR SUHU PERMUKAAN (Studi Lokasi : Kabupaten Banyuwangi)* [Institut Teknologi Malang]. <http://eprints.itn.ac.id/1484/>
- Lampiran I Peraturan KBMKG : Pedoman Pengamatan Unsur-unsur Meteorologi, 1 (2006). <http://hukum.bmkg.go.id/detail.php?iid=DE7BB02E-F8F2-4AD4-B527-E5273DE065DB>
- Peraturan Kepala BMKG tentang Pengamatan dan Pengelolaan Data Iklim di Lingkungan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Pub. L. No. 4 (2016). https://gawbkt.id/assets/jdih/Perka_nomor_4_2016.PDF
- Caesar, J., Alexander, L. V., Trewin, B., Tse-ring, K., Sorany, L., Vuniyayawa, V., Keosavang, N., Shimana, A., Htay, M. M., Karmacharya, J., Jayasinghearachchi, D. A., Sakkamart, J., Soares, E., Hung, L. T., Thuong, L. T., Hue, C. T., Dung, N. T. T., Hung, P. V., Cuong, H. D., ... Sirabaha, S. (2011). Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005. *International Journal of Climatology*, 31(6), 791–801. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.2118>
- Chou, C., Neelin, J. D., Chen, C.-A., & Tu, J.-Y. (2009). Evaluating the “Rich-Get-Richer” Mechanism in Tropical Precipitation Change under Global Warming. *Journal of Climate*, 22(8), 1982–2005. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2471.1>
- Chrysoulakis, N., Proedrou, M., & Cartalis, C. (2001). Variations and trends in annual and seasonal means of precipitable water in Greece as deduced from radiosonde measurements. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 84(1–4), 1–6. <https://doi.org/10.1080/02772240309818>
- Dede, M., Pramulatsih, G. P., Widiawaty, M. A., Ramadhan, Y. R. 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/10.36754/jmkg.v6i1.111>
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., ... Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553–597. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/qj.828>
- Devi, R. M., Prasetya, T. A. E., & Indriani, D. (2020). Spatial and Temporal Analysis of Land Surface Temperature Change on New Britain Island. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 17(1), 45. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2020.v17.a3342>
- Diniardi, E., Susanto, B., & Indarto, I. (2011). Analisis Kecenderungan Data Hujan di Jawa Timur Menggunakan Metode Mann-Kendal & Rank-Sum Test. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 25(1), 137846.
- Esrl_admin. (2010). *Advancing Reanalysis*. Reanalyses.Org Home Page. <https://reanalyses.org/>
- Fan, Y., & van den Dool, H. (2008). A global monthly land surface air temperature analysis for 1948–present. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2007JD008470>
- Firdaus, Z., Muliadi, M., & Sari, R. P. (2019). Pemetaan Perubahan Suhu Permukaan Sebagai Dampak Pembangunan Di Kota Pontianak Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis. *Prisma Fisika*, 7(2), 149. <https://doi.org/10.26418/pf.v7i2.35950>
- Ge, F., Peng, T., Fraedrich, K., Sielmann, F., Zhu, X., Zhi, X., Liu, X., Tang, W., & Zhao, P. (2019). Assessment of trends and variability in surface air temperature on multiple high-resolution datasets over the Indochina Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(3–4), 1609–1627. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2457-x>
- Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., & Lo, K. (2010). GLOBAL SURFACE TEMPERATURE CHANGE. *Reviews of Geophysics*, 48(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2010RG000345>
- Harada, Y., KAMAHORI, H., KOBAYASHI, C., ENDO, H., KOBAYASHI, S., OTA, Y., ONODA, H., ONOGI, K., MIYAOKA, K., & TAKAHASHI, K. (2016). The JRA-55 Reanalysis: Representation of Atmospheric Circulation and Climate Variability. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 94(3), 269–302. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2016-015>
- Haryanto, A. (2019). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung Volume Lampung Maret 2019 (e) 2549-0818 Published by : Jurusan Teknik Pertanian , Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Teknik Pertanian Lampung, 8.*
- Held, I. M., & Soden, B. J. (2006). Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming. *Journal of Climate*, 19(21), 5686–5699. <https://doi.org/10.1175/JCLI3990.1>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S.,

- Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., ... Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *146*(730), 1999–2049. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hidayat, R., Ando, K., Masumoto, Y., & Luo, J. J. (2016). Interannual Variability of Rainfall over Indonesia: Impacts of ENSO and IOD and Their Predictability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *31*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/31/1/012043>
- Houghton, E. (1996). *Climate change 1995: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 2). Cambridge University Press.
- Institute, P. H. (2016). Climate Change 101 : climate science basics. *Public Health Institute/Center for Climate Change and Health*, 1–10. <http://climatehealthconnect.org/wp-content/uploads/2016/09/Climate101.pdf>
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press.
- Kalfuadi, Y. (2009). Analisis temperature heat index (THI) dalam hubungannya dengan ruang terbuka hijau (Studi Kasus: Kabupaten Bungo-Propinsi Jambi). *Skripsi. FMIPA. IPB, Bogor*.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin.
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebata, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., KAMAHORI, H., KOBAYASHI, C., ENDO, H., MIYAOKA, K., & TAKAHASHI, K. (2015). The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, *93*(1), 5–48. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001>
- Kundzewicz, Z. W., & Robson, A. J. (2004). Change detection in hydrological records—a review of the methodology / *Revue méthodologique de la détection de changements dans les chroniques hydrologiques. Hydrological Sciences Journal*, *49*(1), 7–19. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.53993>
- Laddimath, R. S., Patil, N. S., & Nataraj, M. (2019). Historical Trend Analysis of Climate Variables using Mann-Kendal Trend Test to Assess the Local Climate Change over Bhima Basin Historical Trend Analysis of Climate Variables using Mann-Kendal Trend Test to Assess the Local Climate Change over Bhima Basin. *JPSET, Supplementary*, 141–148. <https://doi.org/10.18090/samriddhi>
- Lenssen, N. J. L., Schmidt, G. A., Hansen, J. E., Menne, M. J., Persin, A., Ruedy, R., & Zyss, D. (2019). Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *124*(12), 6307–6326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2018JD029522>
- Malik, A., Kumar, A., Guhathakurta, P., & Kisi, O. (2019). Spatial-temporal trend analysis of seasonal and annual rainfall (1966–2015) using innovative trend analysis method with significance test. *Arabian Journal of Geosciences*, *12*(10). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4454-5>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, *13*(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Marjuki, van der Schrier, G., Klein Tank, A. M. G., van den Besselaar, E. J. M., Nurhayati, & Swarinoto, Y. S. (2016). Observed Trends and Variability in Climate Indices Relevant for Crop Yields in Southeast Asia. *Journal of Climate*, *29*(7), 2651–2669. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00574.1>
- Najib, M., & Astuti, T. (2014). KARAKTERISTIK DAN TREN PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN LAUT DI INDONESIA PERIODE 1982-2009. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 37–49.
- NOAA. (1998). *ETOPO 5x5 Minute Navy Bathymetry*. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.WORLD-BATH/.bath/>
- Prasetyo, S., Hidayat, U., Haryanto, Y. D., & Riama, N. F. (2021). Karakteristik Suhu Udara di Pulau Jawa Kaitannya Dengan Kelembapan Udara, Curah Hujan, SOI, dan DMI. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, *5*(1), 15–26. <https://doi.org/10.22236/jgel.v5i1.5971>
- 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).
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, *63*(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.2307/2285891>
- Thejll, P., & Gleisner, H. (2015). Reanalysis data. In *EAS Publication Series*. https://www.researchgate.net/publication/311107863_Reanalysis_data
- Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi. Bandung: ITB*.
- Victoria, R. L., Martinelli, L. A., Moraes, J. M., Ballester, M. V., Krusche, A. V., Pellegrino, G., Almeida, R. M. B., & Richey, J. E. (1998). Surface Air Temperature Variations in the Amazon Region and Its Borders during This Century. *Journal of Climate*, *11*(5), 1105–1110. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<1105:satvit>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<1105:satvit>2.0.co;2)
- Wiweka, W. (2014). Pola Suhu Permukaan Dan Udara Menggunakan Citra Satelit Landsat Multitemporal. *Jurnal Ecolab*, *8*(1), 11–22. <https://doi.org/10.20886/jklh.2014.8.1.11-22>