

PENILAIAN PERUBAHAN IKLIM BERDASARKAN KECENDERUNGAN DAN PERUBAHAN SUHU TAHUNAN DI MANOKWARI, PAPUA BARAT

*(Assessment of Climate Change Based on Annual Trend and Change of Temperature in
Manokwari, West Papua)*

Femmy Marsitha Barung¹, Wendel Jan Pattipeilohy², & Robi Muharsyah³

¹Program Studi Magister Sains Kebumian FITB, Kampus ITB Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia;
e-mail: femmymarsitha@gmail.com

²Stasiun Klimatologi Manokwari Selatan, Jl. Brigjen Marinir Abraham O. Atururi Arfai, Manokwari, Indonesia;
e-mail: wendeljan89@gmail.com

³Pusat Informasi Perubahan Iklim BMKG Pusat, Jl. Angkasa I No. 2, Kemayoran, Jakarta, Indonesia;
e-mail: robi.muharsyah@gmail.com

Diterima 26 Oktober 2020, direvisi 22 Februari 2021, disetujui 23 Februari 2021

ABSTRACT

A simple climate change assessment is carried out on annual air temperatures including average, maximum and minimum temperatures in Rendani, Manokwari for the period of 1993-2019. Parametric linear regression and non-parametric Mann-Kendall trend test (MK), Modified Mann-Kendall (MMK), Sen's Slope Estimator (SSE) are used to analyze trends and index numbers for analyzing the temperature changes. Homogeneity test is performed using double mass curve and assumption of normality in the distribution is also investigated to meet the requirements of the linear regression trend test. There is a significant upward trend in the mean and minimum temperature with a slope of 0.029°C/year and 0.069°C/year, respectively. Meanwhile, the maximum temperature test shows no trend with a slope of 0.009°C/year. Analysis of temperature changes using index numbers shows an increase in annual average temperature of 2.8% or 0.7°C, maximum temperature of 1.2% or 0.4°C, and minimum temperature of 3.1% or 0.8°C. The increase in annual air temperature in Manokwari City can generally be caused by several factors such as El Nino phenomenon, urbanization, population growth, and deforestation.

Keywords: Climate change; Mann-Kendall trend test; Modified Mann-Kendall; Sen's Slope Estimator.

ABSTRAK

Penilaian perubahan iklim secara sederhana dilakukan terhadap suhu udara tahunan meliputi suhu rata-rata, suhu maksimum, dan suhu minimum di Rendani, Manokwari periode 1993-2019. Metode statistik parametrik regresi linier dan non-parametrik uji tren *Mann-Kendall* (MK), *Modified Mann-Kendall* (MMK), *Sen's Slope Estimator* (SSE) digunakan untuk menganalisis kecenderungan serta angka indeks untuk analisis perubahan suhu. Uji homogenitas dilakukan menggunakan *double mass curve* dan asumsi normalitas pada distribusi juga diselidiki untuk memenuhi syarat uji tren regresi linier. Terjadi kecenderungan kenaikan yang signifikan pada suhu rata-rata dan suhu minimum dengan *slope* sebesar 0,029°C/tahun dan 0,069°C/tahun secara berturut-turut. Hasil uji suhu maksimum tidak menunjukkan adanya tren dengan kemiringan 0,009°C/tahun. Analisis perubahan suhu menggunakan angka indeks menunjukkan terjadi kenaikan suhu rata-rata tahunan sebesar 2,8% atau sebesar 0,7°C, suhu maksimum 1,2% atau 0,4°C, dan suhu minimum sebesar 3,1% atau 0,8°C. Peningkatan suhu udara tahunan di Kota Manokwari secara umum dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti fenomena El Nino, urbanisasi, pertumbuhan penduduk, dan deforestasi.

Kata kunci: Perubahan iklim; uji tren *Mann-Kendall*; *Modified Mann-Kendall*; *Sen's Slope Estimator*.

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil observasi, suhu permukaan bumi mengalami kenaikan sejak revolusi industri berlangsung (Aldrian, 2011). Pemanasan global akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca berdampak pada perubahan iklim yang ditandai dengan meningkatnya kejadian-kejadian iklim ekstrem (Nugroho, 2019). *World Meteorological Organization* (WMO) dalam *Provisional Statement on the Status of the Global Climate in 2019* menyatakan bahwa kenaikan suhu rata-rata global Januari hingga Oktober 2019 sekitar $1,1 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ di atas tingkat pra-industri dan berdasarkan laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) pemanasan akibat ulah manusia mencapai sekitar $0,8^{\circ}\text{C}$.

Peningkatan iklim ekstrem, khususnya suhu udara diduga akan semakin menguat sebagai akibat perubahan iklim. Hal ini perlu mendapat perhatian yang lebih serius karena dampaknya akan berpengaruh terhadap aktivitas manusia dan ekosistem alam (Griffiths & Bradley, 2007). Peningkatan suhu dapat menyebabkan insiden gelombang panas, penyakit, dan kematian pada populasi yang rentan. Marsitha, Pattipeilohy, & Virgianto (2019) menyebutkan bahwa peningkatan suhu udara dan penurunan kelembaban udara menyebabkan tingkat kenyamanan bagi manusia yang beraktivitas di luar ruangan akan berkurang.

Untuk mendeteksi perubahan iklim secara sederhana dapat dilakukan dengan analisis kecenderungan dan perubahan. Hal ini telah dilakukan dalam beberapa penelitian. Muharsyah (2012) mendeteksi adanya kecenderungan perubahan suhu udara rata-rata, maksimum, dan minimum menggunakan metode regresi linier dan uji *Mann-Kendall* dalam kurun waktu 1998-2007 pada beberapa kota di Papua yang mengalami kenaikan suhu bulanan rata-rata dengan tingkat kepercayaan 99% di Kota Jayapura dan Merauke. Penelitian lain tentang uji perubahan rata-rata suhu udara di Pangkal Pinang periode 2000-2011 dilakukan oleh Fadholi (2011) menggunakan

metode regresi linier dan uji t untuk pengujian terhadap rata-rata yang menyimpulkan bahwa ada kecenderungan kenaikan suhu udara rata-rata sebesar $0,0292^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$, suhu udara minimum sebesar $0,0365^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$, dan suhu udara maksimum mengalami penurunan sebesar $0,01095^{\circ}\text{C}/\text{tahun}$. Rahmawati (2017) menganalisis perbandingan perubahan pola suhu udara rata-rata, maksimum, dan minimum tahun 1980 (*base year*) dengan tahun 1981-2016 pada beberapa kota di wilayah Indonesia menggunakan metode angka indeks. Hasil analisisnya menunjukkan terjadi peningkatan suhu udara rata-rata, maksimum, dan minimum di beberapa kota dengan peningkatan suhu rata-rata tertinggi sebesar +1,88% atau $0,6^{\circ}\text{C}$ di wilayah Jakarta, peningkatan suhu udara maksimum tertinggi terjadi di Kota Surabaya sebesar +2,06% atau $0,8^{\circ}\text{C}$.

Beberapa penelitian tersebut melakukan pengujian tren suhu udara dengan metode statistik parametrik regresi linier dan non-parametrik *Mann-Kendall*. Regresi linier sangat baik digunakan apabila data memiliki distribusi normal, independen, dan bukan musiman. Metode non-parametrik *Mann-Kendall* menggunakan asumsi data independen dan bebas dari jenis distribusi (Hamed & Ramachandra Rao, 1998; Kundzewicz & Radziejewski, 2006). Kenyataannya, data observasi hidro-klimatik pada umumnya tidak selalu terdistribusi normal dan dapat ber-autokorelasi atau berkorelasi secara serial. Masalah autokorelasi dalam data tersebut akan menimbulkan kesalahan interpretasi pada hasil pengujian tren *Mann-Kendall* (Hamed & Ramachandra Rao, 1998). Untuk mengatasinya, Hamed & Ramachandra Rao (1998) melakukan evaluasi rata-rata dan varians dari statistik uji tren *Mann-Kendall* yang disebut dengan uji tren *Modified Mann-Kendall*.

Berdasarkan hal tersebut, dilakukan studi untuk menilai perubahan iklim secara sederhana berdasarkan deteksi kecenderungan terhadap suhu udara tahunan menggunakan

metode parametrik regresi linier dan non-parametrik uji *Mann-Kendall*, *Modified Mann Kendall*, dan *Sen's Slope Estimator*. Selain itu, analisis perubahan suhu udara tahunan juga dilakukan menggunakan metode angka indeks di Rendani, Manokwari serta membahas penyebab kecenderungan dan perubahan suhu tersebut.

II. METODE PENELITIAN

Data suhu udara harian berupa suhu rata-rata, suhu maksimum, dan suhu minimum periode 1993-2019 di Rendani, Manokwari diperoleh dari Stasiun Meteorologi Rendani, Manokwari. Data tersebut adalah data observasi selama periode analisis dengan tidak mempertimbangkan fenomena Pemanasan Pulau Perkotaan atau *Urban Heat Island* (UHI) maupun kejadian kebakaran hutan. Data suhu udara harian kemudian diolah menjadi suhu udara tahunan yang digunakan dalam studi ini untuk menilai perubahan iklim berdasarkan kecenderungan dan perubahannya.

Untuk mendeteksi kecenderungan dan perubahan suhu udara tahunan, diterapkan metode analisis statistik, baik secara parametrik maupun non-parametrik. Langkah pertama, dilakukan uji homogenitas data menggunakan metode *Double Mass Curve* untuk melihat apakah data suhu udara yang digunakan bersifat homogen atau non-homogen. Data non-homogen diakibatkan oleh beberapa hal seperti pergantian lokasi stasiun, pergantian pengamat atau berubahnya cara pengamatan, dan pergantian alat ukur (Nihayatin & Sutikno, 2013). Kedua, melakukan *Exploratory Data Analysis* (EDA) pada data suhu udara tahunan untuk mengevaluasi seberapa baik data dalam memenuhi asumsi analisis statistik parametrik, salah satunya dengan distribusi normal (Meals, Spooner, Dressing, & Harcum, 2011). Distribusi probabilitas normal menggambarkan distribusi variabel acak yang sering muncul dalam kehidupan nyata. Variabel acak seperti suhu udara misalnya x , akan mengikuti distribusi normalnya jika *Probability Density Function* (PDF)

memenuhi persamaan 1 (Subarna, 2017).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, -\infty < x < \infty \dots\dots\dots(1)$$

dimana: μ = rata-rata; σ = standar deviasi.

Analisis statistik deskriptif juga dilakukan sebagai langkah awal untuk mendeteksi kecenderungan berupa *varians*, *skewness*, dan *kurtosis*. Ketiga, mendeteksi kecenderungan atau tren dengan metode parametrik yaitu regresi linier biasa dan non-parametrik menggunakan uji *Mann-Kendall* (MK), *Modified Mann-Kendall* (MMK), dan *Sen's Slope Estimator* (SSE). Keempat, melakukan perhitungan dan analisis perubahan suhu tahunan menggunakan metode angka indeks. Terakhir, membahas dan menyimpulkan kecenderungan dan perubahan suhu rata-rata, suhu maksimum, dan suhu minimum di Rendani, Manokwari.

A. Uji Homogenitas Menggunakan Double Mass Curve

Pengujian ini dilakukan untuk menguji konsistensi data dengan menggambarkan data suhu udara rata-rata, maksimum, dan minum kumulatif setiap tahun. Apabila garis yang diperoleh merupakan garis lurus berarti data yang diuji merupakan data yang konsisten (Priambodo, 1990; Rahmawati, 2017).

B. Regresi Linier Sederhana

Sebelum mengaplikasikan tes ini, sebaiknya dilakukan pemeriksaan normalitas di mana data hidrologi dan iklim pada umumnya bersifat miring terhadap waktu. Tes ini digunakan untuk mendeskripsikan tren linier di dalam data deret waktu (Haan, 1977).

Persamaan regresi linier sederhana dapat diberikan oleh persamaan 2 (Mangkuatmodjo, 1999).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \dots\dots\dots(2)$$

dimana: Y= variabel suhu udara; X= variabel waktu (tahun); β_0 = *intercept*; β_1 = *slopes* kemiringan tren.

Nilai β_1 positif berarti terdapat kecenderungan naik dan nilai negatif mengindikasikan kecenderungan turun (Muharsyah, 2012).

C. Uji Tren Mann-Kendall (MK)

Uji tren *Mann-Kendall* dikenalkan oleh Mann (1945) dan Kendall (1975) yang merupakan metode non-parametrik berbasis *ranking* yang mengevaluasi serangkaian data untuk hasil tren yang monoton. Uji ini secara luas telah digunakan untuk analisis *time series* karena sederhana dan *robust*, memiliki sensitivitas rendah pada data kosong (Gavrilov, Tošić, Marković, Unkašević, & Petrović, 2016) serta tidak memerlukan data yang terdistribusi normal (Helsel & Hirsch, 2002). Formula untuk menghitung S statistik *Mann-Kendall* dapat dilihat pada persamaan 3.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \dots\dots\dots(3)$$

dimana: $j > k$; $k = 1, 2, \dots, n-1$; $j = 2, 3, \dots, n$; n = jumlah data yang digunakan.

$\text{Sgn}(x_j - x_k)$ dihitung menggunakan persamaan 4.

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_k < 0 \end{cases} \dots\dots(4)$$

Kendall (1975) membuktikan bahwa S terdistribusi secara normal asimptotik dengan parameter rata-rata dan varians-nya (persamaan 5).

$$E(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{\{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)\}}{18} \quad (5)$$

dimana: g = jumlah grup terikat dalam dataset; t_p = jumlah data terikat ke- p (kelompok terikat adalah sekumpulan data sampel yang memiliki nilai yang sama).

Nilai S positif berarti bahwa terdapat tren yang meningkat, sedangkan S negatif berarti tren menurun terhadap waktu. Ini dibuktikan bahwa untuk jumlah data $n > 10$ maka varian standar normal Z dapat digunakan untuk uji hipotesis (persamaan 6) dengan hipotesis H_0 : Z = tidak terdapat kecenderungan; H_1 : Z = terdapat kecenderungan.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan tingkat signifikansi 95% atau $\alpha = 0,05$ (1,96), maka H_0 akan diterima apabila $Z_{\alpha/2} < Z < Z_{\alpha/2}$ yang berarti tidak terdapat kecenderungan, begitu pula sebaliknya. Nilai S erat kaitannya dengan koefisien korelasi *rank* Kendall yang dapat dihitung dengan persamaan 7 (Kocsis, Kovács-Székely, & Anda, 2017).

$$\tau = \frac{S}{D} \text{ dan } D = \binom{n}{2} \dots\dots\dots(7)$$

dimana: D = jumlah pasangan data yang mungkin dari jumlah n dataset.

D. Uji Tren Modified Mann-Kendall (MMK)

Dari sudut pandang statistik, tidak diterimanya hipotesis nol (H_0) dari uji Mann-Kendall (MK) yang asli hanya menyiratkan bahwa data yang sedang dianalisis tidak dapat dianggap independen dan terdistribusi secara identik (Chandler & Scott, 2011). Dalam aplikasi praktis, penerimaan H_0 seperti itu sering dianggap sebagai bukti tidak adanya tren yang signifikan dalam deret waktu meteorologi (agro) yang diberikan. Di sisi lain, tidak diterimanya H_0 seperti itu sering dianggap sebagai bukti adanya tren iklim yang signifikan di lokasi tertentu. Dengan demikian, kesalahan tipe I terkait dengan penggunaan tes tren ini dapat terjadi oleh penolakan H_0 karena adanya ketergantungan temporal dalam data (Blain, 2013).

Dalam pandangan ini, adanya korelasi serial positif yang signifikan meningkatkan jumlah penolakan palsu dari H_0 yang disebutkan di atas (Hamed & Ramachandra Rao, 1998; Yue, Pilon, Phinney, & Cavadias, 2002; Yue & Wang, 2004). Hamed & Ramachandra Rao (1998) mengembangkan faktor koreksi yang memodifikasi varian statistik MK untuk mengkompensasi efek korelasi serial pada data sampel (Yue *et al.*, 2002). Formula untuk

menghitung variansi S dari MKK dapat dilihat pada persamaan 8 dan persamaan 9.

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \dots\dots\dots(9)$$

dimana: V(S)* = variansi S MMK; ri = koefisien autokorelasi yang signifikan pada urutan ke-i dari data.

Nilai koefisien autokorelasi diplot menggunakan *Autocorrelation Function* (ACF). Nilai z dihitung seperti pada metode *Mann-Kendall* dengan mengganti nilai V(S) dengan V(S)* (Suryanto, 2018).

E. Sen’s Slope Estimator (SSE)

Seperti uji tren MK, tren *Theil-Sen* adalah prosedur non-parametrik berbasis *ranking* yang bersifat *robust* bahkan tidak terpengaruh adanya *outlier* data dan *error* data tunggal pada data series (Meals *et al.*, 2011). Uji MK hanya mempertimbangkan tanda naik atau turunnya kecenderungan suatu variabel, bukan besarnya/magnitudo kemiringan. Dengan demikian maka dilakukan perhitungan kemiringan menggunakan metode *Sen’s Slope Estimator* (persamaan 10). Metode ini menggunakan model linier untuk estimasi kemiringan tren dan *varians* dari residual harus konstan terhadap waktu (da Silva *et al.*, 2015).

$$Q = \frac{x'_i - x_i}{i' - i} \dots\dots\dots(10)$$

xi' dan xi adalah nilai data pada saat (atau selama periode waktu) i' dan i secara berturut-turut, dan di mana i' > i. Jika hanya ada satu datum dalam setiap periode maka nilai N' ditentukan oleh persamaan 11.

$$N' = \frac{n(n-1)}{2} \dots\dots\dots(11)$$

di mana n adalah jumlah periode waktu (Gilbert, 1988; Gocic & Trajkovic, 2013). Nilai

N' dari Q di-*ranking* dari terkecil ke terbesar dan median Q memberikan kemiringan *slope* (Kocsis *et al.*, 2017).

F. Analisis Perubahan Suhu Udara Tahunan Menggunakan Angka Indeks

Angka indeks atau *index value* merupakan suatu angka atau nilai proporsi yang dapat digunakan untuk membandingkan suatu kejadian atau nilai dari unsur yang sama (seperti suhu udara, curah hujan) dalam kurun waktu yang berbeda (Rahmawati, 2017). Tujuan analisis angka indeks adalah untuk mengukur secara kuantitatif terjadinya perubahan dalam dua atau lebih waktu yang berbeda, misalnya angka indeks suhu udara untuk mengukur persentase kenaikan dan penurunan dari waktu ke waktu. Angka indeks sederhana dapat dilihat pada persamaan 12.

$$I(t, 0) = \frac{p(t)}{p(0)} \times 100\% \dots\dots\dots(12)$$

dimana: I (t,0) = parameter pada waktu t dengan waktu dasar 0 (%); p(t) = parameter (nilai unsur) pada waktu t; p (0) = parameter (nilai unsur) pada waktu 0 (waktu dasar).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

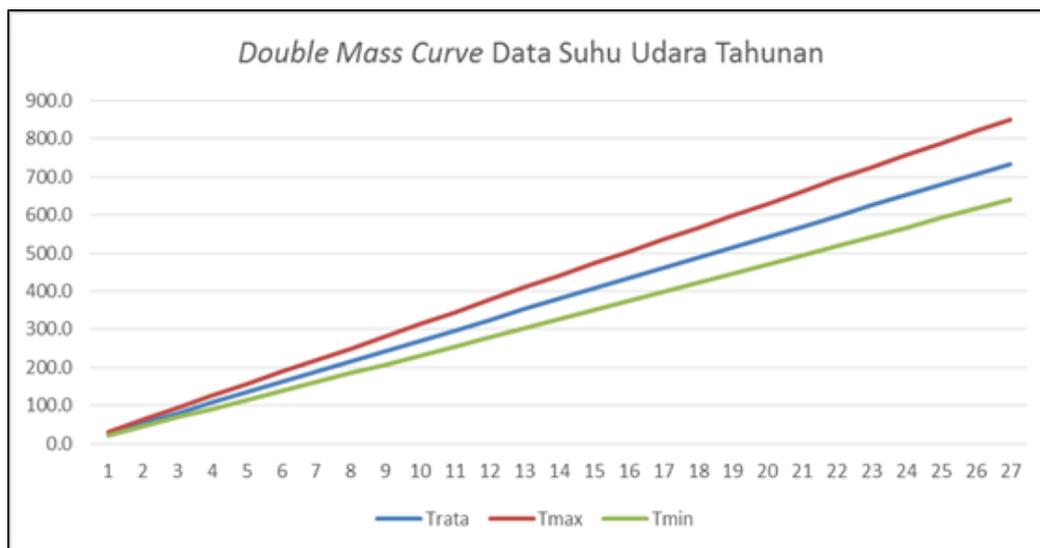
A. Hasil

1. Uji Homogenitas

Berdasarkan hasil uji homogenitas dengan metode *double mass curve* (Gambar 1) terlihat bahwa ketiga parameter suhu udara yaitu suhu rata-rata, suhu maksimum, dan suhu minimum konsisten atau membentuk garis lurus sehingga dapat disimpulkan bahwa data suhu udara tersebut homogen sesuai dengan teorinya.

2. Statistik Deskriptif dan Analisis Distribusi

Deskripsi statistik data suhu udara tahunan di Rendani, Manokwari dapat dirangkum sebagaimana Tabel 1 dengan nilai yang menjadi perhatian utama adalah *varians*, *skewness*, dan *kurtosis*. Suhu udara rata-rata tahunan periode 1993-2019 tercatat 27,2°C,



Sumber (Source): Data primer, diolah (Processed from primary data)

Gambar 1 Kurva uji homogenitas suhu udara tahunan di Rendani, Manokwari
 Figure 1 Annual air temperature homogeneity test curve in Rendani, Manokwari.

Tabel 1 Statistik deskriptif suhu udara tahunan di Rendani, Manokwari
 Table 1 Descriptive statistic of annual air temperature in Rendani, Manokwari

Statistik (Statistics)	Trata (Average)	Tmax	Tmin
Maksimum (Maximum)	28,1	32,1	25,0
Minimum (Minimum)	26,5	31,0	22,5
Rata-rata (Average)	27,2	31,5	23,7
STDV (Standart Deviation)	0,335	0,286	0,612
Varians	0,112	0,082	0,374
Skewness	0,19	0,28	0,38
Kurtosis	0,71	-0,39	-0,12

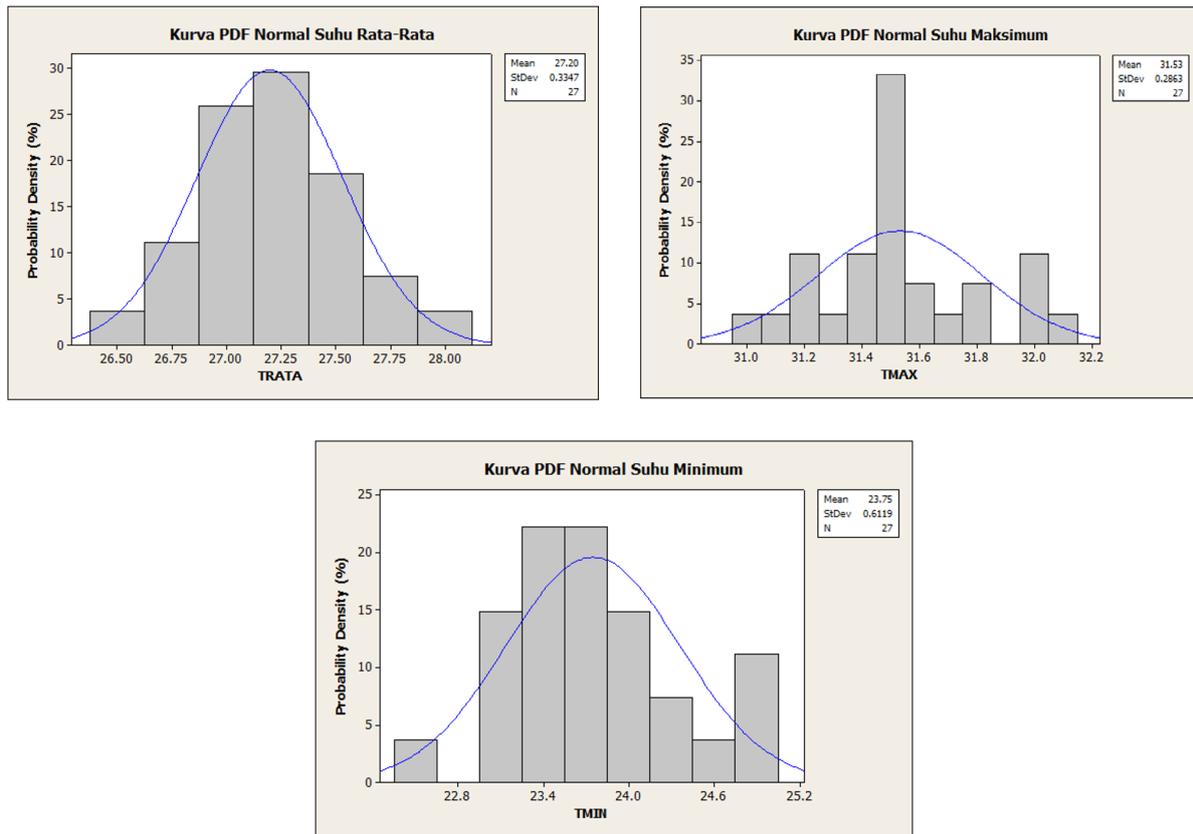
Sumber (Source): Data primer diolah (Processed from primary data).

suhu udara maksimum absolut sebesar 32,1°C, dan suhu minimum absolut yang pernah terjadi adalah 22,5°C.

Varians adalah ukuran seberapa jauh data suhu udara tersebar dari nilai rata-ratanya. Selama periode 1993-2019, suhu dengan variasi data yang paling besar adalah suhu udara minimum sedangkan variasi data yang terkecil adalah suhu udara maksimum. Terdapat nilai negatif pada *kurtosis* suhu maksimum (-0,39°C) dan suhu minimum (-0,12°C). *Kurtosis* adalah ukuran yang mengindikasikan apakah fungsi distribusi berbentuk oval atau *flat*, relatif terhadap bentuk distribusi normalnya.

Semakin kecil nilai negatif pada *kurtosis*, berarti fungsi distribusi suhu yang dibentuk semakin *flat* seperti yang ditunjukkan oleh suhu maksimum (Gambar 2).

Nilai *skewness*/kemiringan pada grafik mengindikasikan seberapa simetris kurva distribusi data proporsional terhadap kiri dan kanan nilai rata-ratanya. *Skewness* terbesar terjadi pada suhu udara minimum yang berarti bahwa distribusi data suhu minimum miring ke kanan, relatif lebih banyak data yang nilainya lebih besar dari rata-ratanya. Hal ini juga ditunjukkan oleh fungsi distribusi probabilitas yang miring ke kanan terhadap rata-ratanya. Kurva PDF suhu rata-rata



Sumber (Source): Data primer diolah (Processed from primary data)

Gambar 2 Probability Density Function (PDF) suhu udara tahunan vs fungsi distribusi normal
 Figure 2 Probability Density Function (PDF) annual air temperature vs normal distribution function.

Tabel 2 Hasil tren model regresi linier
 Table 2 Regression model trend results

Parameter (Parameter)	Trata (Average)	Tmax	Tmin
Persamaan (Equation)	$Y_t = -21,6 + 0,0244t$	$Y_t = -21,6 + 0,0244t$	$Y_t = -21,6 + 0,0244t$
Slope	+0,244	+0,115	+0,0711
R-sq (%)	33,3	10,2	85,1
Nilai sign (Sig value)	0,002	0,105	0,000
Interpretasi (Interpretation)	Signifikan (Significant)	Tidak signifikan (Not significant)	Signifikan (Significant)

Sumber (Source): Data primer diolah (Processed from primary data).

menunjukkan kemiringan sedikit ke kiri dengan nilai *skewness* 0,19. Berdasarkan nilai statistik *varian*, *skewness*, dan *kurtosis* serta kurva PDF vs distribusi normal dapat disimpulkan bahwa distibusi data suhu udara rata-rata, maksimum, dan minimum tidak terdistribusi normal.

3. Tren Regresi Linier

Model regresi linier digunakan dalam studi ini untuk memprediksi tren data di masa depan secara sederhana. Persamaan regresi linier yang berubah terhadap waktu serta hasil signifikansi dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan nilai *slope*, ketiga parameter suhu udara memiliki *slope* positif. Artinya, suhu udara cenderung naik selama periode 1993-2019 dengan kenaikan terbesar terjadi pada suhu rata-rata 0,244°C/tahun, diikuti suhu maksimum sebesar 0,115°C/tahun dan kenaikan terkecil adalah suhu minimum sebesar 0,071°C/tahun. Nilai koefisien determinasi (R-sq) tertinggi terjadi pada suhu udara minimum yang berarti sebesar 85,1% variasi variabel terikat (suhu) dapat dijelaskan oleh variabel bebas (waktu) atau terdapat hubungan linier positif yang kuat pada suhu minimum dari tahun ke tahun. Dengan menggunakan tingkat signifikansi 95% atau *alpha* 0,05 maka kenaikan suhu rata-rata dan suhu minimum terjadi signifikan sedangkan suhu maksimum tidak signifikan. Hal ini karena nilai *p-value* pada suhu maksimum >*alpha* 0,05.

Telah dijelaskan bahwa pendekatan menggunakan regresi linier harus memenuhi asumsi normalitas dan independen sehingga deteksi tren menggunakan regresi linier diabaikan karena suhu udara rata-rata, maksimum, dan minimum tidak terdistribusi normal. Dalam hal ini maka diperlukan aplikasi pendekatan non-parametrik seperti MK, MMK, dan SSE.

4. Uji Tren Mann-Kendall, Modified Mann-Kendall, dan Sen's Slope Estimator

Penilaian perubahan iklim dengan mendeteksi kecenderungan meningkat atau menurunnya suhu udara tahunan di Rendani pada periode 1993-2019 juga dilakukan dengan pendekatan non-parametrik berupa

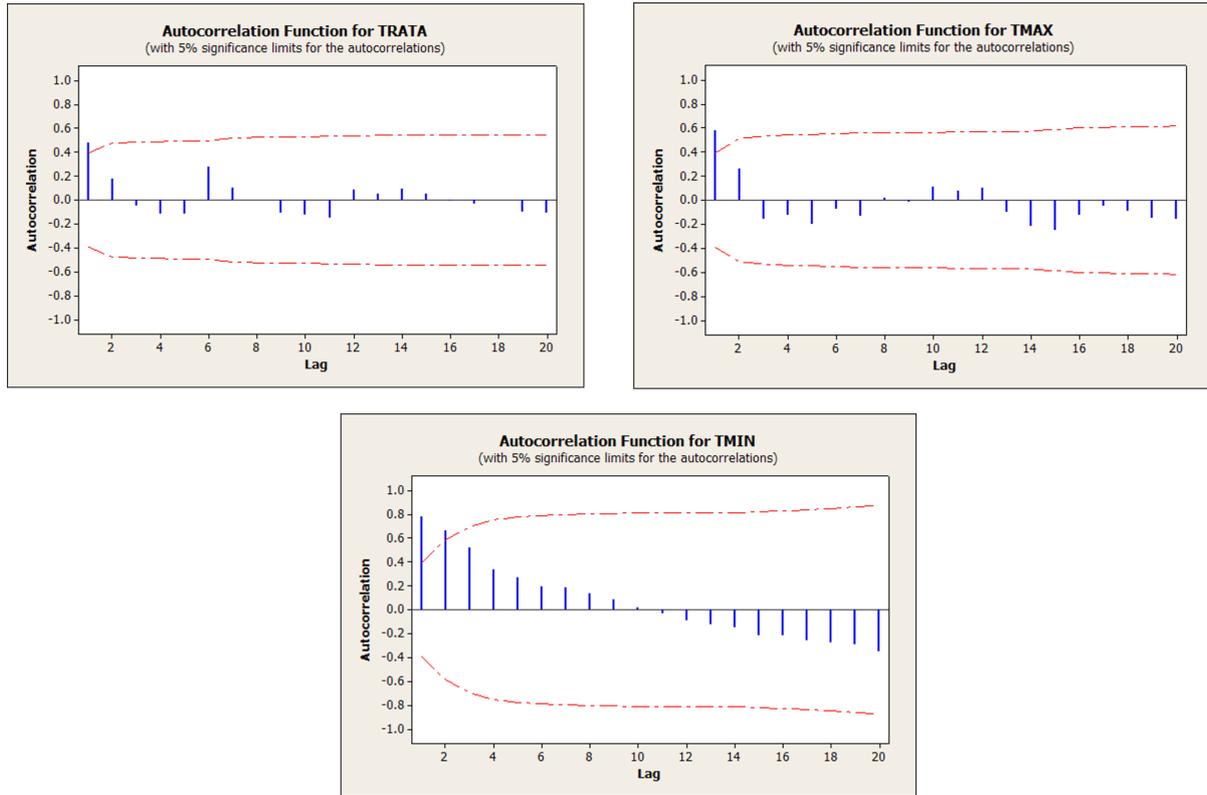
uji MK, MMK, dan SSE. Hasil uji MK dan MMK disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Nilai statistik Kendall (S) yang bernilai besar dan positif mengindikasikan kecenderungan naik, nilai negatif yang besar mengindikasikan kecenderungan turun, dan nilai nol berarti tidak terdapat inklinasi. Nilai S dari suhu rata-rata, maksimum, dan minimum menunjukkan nilai positif yang berarti dengan tingkat kepercayaan 95% suhu udara cenderung naik terhadap waktu. Pengujian Z hitung dengan *alpha* 0,05 (1,96) menyatakan bahwa suhu rata-rata ($Z_{hit} = 3,92$) dan suhu minimum ($Z_{hit} = 5,96$) memiliki tren yang signifikan karena berada di luar rentang $Z_{\alpha/2} < Z < Z_{\alpha/2}$ atau H_0 ditolak.

Sudah dijelaskan bahwa uji MK tidak mampu mengatasi autokorelasi atau korelasi serial. Nilai positif autokorelasi *lag*-1 akan menyebabkan nilai signifikansi tren *overestimate*, baik tren positif maupun negatif (Yue *et al.*, 2002). Plot koefisien autokorelasi disajikan pada Gambar 3. Suhu rata-rata, maksimum, dan minimum menunjukkan autokorelasi yang positif pada *lag* 1, *lag* 1 serta *lag* 1 dan *lag* 2 secara berturut-turut, ditandai dengan nilai koefisien yang melewati garis Bartlett. Autokorelasi menunjukkan data bersifat dependen (*autocorrelated*). Uji tren MK mensyaratkan data harus independen sehingga untuk deteksi tren data suhu udara tahunan selanjutnya menggunakan metode MMK (Suryanto, 2018). Untuk menghindari kesalahan tipe I, dilakukan uji MMK dengan parameter statistik yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3 Statistik uji Mann-Kendall
Table 3 Mann-Kendall test statistics

Parameter (Parameter)	Trata (Average)	Tmax	Tmin
S	189	73	287
V (S)	22,56	2196	2278
Z hit	3,92	1,50	5,96
Pvalue	0,00	0,15	0,00
Interpretasi (Interpretation)	Signifikan (Significant)	Tidak signifikan (Not significant)	Signifikan (Significant)

Sumber (Source): Data primer diolah (Processed from primary data).



Sumber (Source): Data primer diolah (Processed from primary data)

Gambar 3 Plot ACF suhu udara dengan batas signifikansi 5%
 Figure 3 ACF plot of air temperature with a significance limit of 5%.

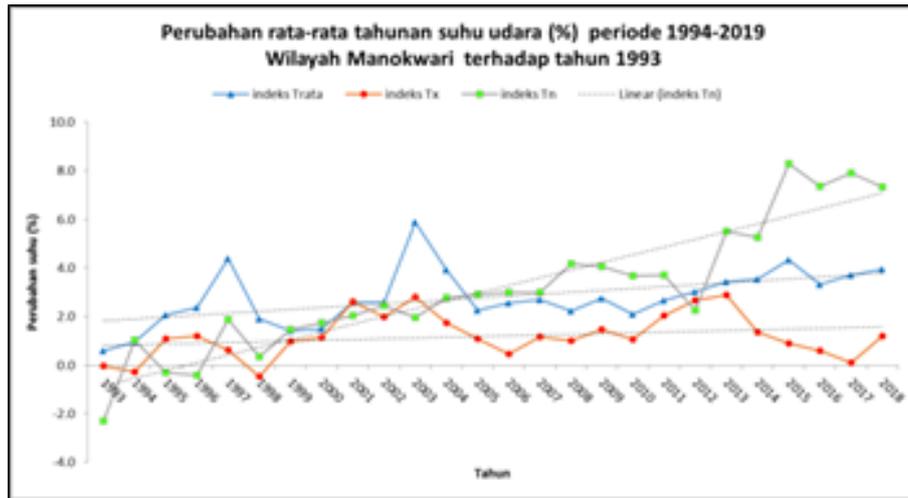
Tabel 4 Statistik uji *modified Mann-Kendall*
 Table 4 Modified Mann-Kendall test statistics

Parameter (Parameter)	Trata (Average)	Tmax	Tmin
V (S)	3152	4124	2278
Z hit	3,85	1,43	5,87
Pvalue	0,00	0,30	0,00
Interpretasi (Interpretation)	Signifikan (Significant)	Tidak signifikan (Not significant)	Signifikan (Significant)

Sumber (Source): Data primer diolah (Processed from primary data).

Koreksi varian pada metode MMK menunjukkan adanya peningkatan varian dari metode MK untuk suhu rata-rata dan suhu maksimum, sedangkan suhu minimum bernilai tetap. Hasil pengujian Z hitung dengan tingkat signifikansi 95% atau alpha 0,05 (1,96), terdapat kecenderungan yang signifikan pada suhu rata-rata dan suhu minimum sedangkan pada suhu maksimum tidak terdapat tren/

kecenderungan. Hal ini karena nilai Z hitung suhu maksimum (1,43) berada pada rentang $Z_{\alpha/2} < Z < Z_{\alpha/2}$, maka H_0 diterima. Besarnya kenaikan suhu terhadap waktu berdasarkan penerapan SSE adalah 0,029°C/tahun untuk suhu rata-rata, 0,009°C/tahun untuk suhu maksimum, dan 0,069°C/tahun untuk suhu minimum.



Sumber (Source): Data primer diolah (Processed from primary data)

Gambar 4 Grafik perubahan rata-rata suhu udara tahunan di Manokwari
 Figure 4 Graph of change in average annual air temperature in Manokwari.

5. Analisis Perubahan Suhu Udara Tahunan Menggunakan Angka Indeks

Perubahan tahunan suhu udara menggunakan angka indeks tahun 1994-2019 terhadap *base year* tahun 1993 dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil menunjukkan bahwa selama periode 1994-2019 terjadi kenaikan suhu rata-rata tahunan sebesar 2,8% atau 0,7°C, suhu maksimum 1,2% atau 0,4°C, dan suhu minimum sebesar 3,1% atau 0,8°C. Kenaikan suhu tertinggi terjadi pada tahun 1998, tahun 2004 untuk suhu rata-rata, tahun 2014 untuk suhu maksimum, dan tahun 2016 untuk suhu minimum. Jika dilihat dari polanya, suhu minimum naik tajam dari *base year* setelah tahun 2013 namun suhu maksimum menunjukkan pola sebaliknya yakni pola menurun setelah tahun 2014.

B. Pembahasan

Berdasarkan beberapa uji tren di atas, suhu rata-rata dan suhu minimum memiliki kecenderungan naik secara signifikan sedangkan hasil uji untuk suhu maksimum menunjukkan tidak adanya kecenderungan kenaikan selama periode 1993-2019. Begitu pula, hasil analisis perubahan suhu berdasarkan

angka indeks menunjukkan adanya kenaikan suhu minimum dan suhu rata-rata yang tinggi dan konsisten setelah tahun 2013 terhadap *base year*-nya sedangkan suhu maksimum menunjukkan penurunan setelah tahun 2013 terhadap *base year*.

Berdasarkan *World Meteorological Organization* (2019), 5 tahun terakhir yaitu periode tahun 2015-2019 dan dekade terakhir yaitu periode tahun 2010-2019 menjadi periode terhangat yang pernah tercatat. Tahun 2016 menjadi tahun terpanas yang pernah tercatat akibat adanya El Nino dengan intensitas kuat. BMKG juga mencatat tahun 2016 menjadi tahun terpanas sepanjang pengamatan dengan nilai anomali sebesar 0,8°C, diikuti tahun 2019 sebesar 0,58°C. Hal ini sesuai dengan identifikasi perubahan menggunakan angka indeks bahwa perubahan suhu udara minimum yang tertinggi terjadi pada tahun 2016 dan naik secara konsisten pada tahun-tahun setelahnya.

Peningkatan suhu tersebut disebabkan oleh peningkatan gas rumah kaca (GRK) utama hasil pembakaran bahan bakar fosil yaitu CO₂, CH₄, dan NO_x serta perubahan penggunaan lahan (IPCC, 2007). Kurangnya ruang

terbuka hijau (RTH) dapat menyebabkan peningkatan suhu permukaan sehingga menyebabkan ketidaknyamanan. Winarsa, Sumaryono, & Pambudhi (2012) menyatakan bahwa kurangnya RTH di Kota Manokwari mengakibatkan terganggunya keseimbangan ekosistem perkotaan, meliputi iklim yang tidak nyaman, meningkatnya suhu udara, dan perubahan kelembaban udara. Beberapa studi mengatakan bahwa peningkatan suhu secara tidak langsung disebabkan karena urbanisasi, pertumbuhan penduduk (Dhorde & Gadgil, 2009), dan deforestasi (Hermawan, 2015; Wang *et al.*, 2014). Pada tahun 2012, lahan hutan di Kota Manokwari mengalami penurunan luas sebesar 152,4 ha (0,64%) serta penggunaan lahan untuk pemukiman dan bangunan non-pemukiman meningkat sebesar 0,03% atau 6,6 ha dalam waktu 5 tahun terakhir (Winarsa *et al.*, 2012). Selain itu, luas lahan yang mengalami degradasi pada tahun 2014-2015 mencapai 1.139 ha, meningkat sebesar 61% dari tahun sebelumnya. Deforestasi yang terjadi antara tahun 2015-2017 mengalami peningkatan yang cukup signifikan yakni mencapai 2.253 ha dibandingkan tahun sebelumnya (Marwa, Sineri, & Hematang, 2020).

Peningkatan suhu, baik dari skala lokal maupun skala global dapat memicu perubahan dalam berbagai aspek cuaca seperti pola angin, energi potensial konvektif, tipe dan frekuensi curah hujan ekstrim. IPCC (2013) menyatakan bahwa tidak dapat dipungkiri peningkatan kejadian iklim ekstrim dapat menyebabkan bencana hidrometeorologi seperti banjir, angin puting beliung, dan kekeringan. Dalam jangka panjang dapat membawa pengaruh pada lingkungan, sosial, dan ekonomi di mana masyarakat akan menjadi rentan terhadap kejadian iklim ekstrim jika tidak diantisipasi sedini mungkin (Subarna, 2017).

BMKG menyebutkan bahwa dengan menggunakan skenario perubahan iklim RCP4.5 maka perubahan suhu di masa depan (2032-2040) terhadap *base year* (2006-

2014) mencapai 0,71°-0,75°C di wilayah Manokwari, Papua Barat di mana skenario ini mengasumsikan bahwa pemerintah berupaya menurunkan emisi GRK di masa depan. Jika tidak ada upaya yang dilakukan, perubahan suhu dapat menjadi lebih besar. Upaya yang dapat dilakukan adalah penambahan RTH di perkotaan, kebijakan urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang strategis, serta pengendalian lingkungan yang tepat.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa terdapat kecenderungan kenaikan perubahan suhu udara yang signifikan pada suhu udara rata-rata dan suhu udara minimum, sedangkan untuk suhu udara maksimum tidak signifikan pada semua metode yang diterapkan. Hal ini juga didukung dengan perbandingan angka indeks pada suhu minimum dan rata-rata yang konsisten mengalami kenaikan setelah tahun 2013 tetapi pada suhu maksimum justru menunjukkan pola menurun setelah tahun 2014.

Peningkatan suhu udara di Kota Manokwari dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti fenomena El Nino pada tahun-tahun tertentu, bertambahnya luas alih fungsi lahan hutan menjadi pemukiman yang meningkat selama periode 2008-2012 yang menyebabkan kurangnya RTH, urbanisasi, serta pertumbuhan penduduk.

B. Saran

Salah satu dampak dari perubahan iklim yaitu terjadinya perubahan secara signifikan dari parameter cuaca seperti suhu udara dan curah hujan. Untuk itu maka diperlukan upaya-upaya adaptasi dan mitigasi secara masif terhadap perubahan iklim dari berbagai sektor sehingga mampu beradaptasi dan meminimalisir kerugian atau dampak buruk yang ditimbulkan.

UCAPAN TERIMA KASIH (ACKNOWLEDGEMENT)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam proses penelitian ini, secara khusus kepada Stasiun Meteorologi Rendani atas dukungan data observasi sehingga jurnal penelitian ini dapat selesai dengan baik. Pada penelitian ini, penulis pertama dan kedua adalah kontributor utama sedangkan penulis ketiga adalah kontributor anggota.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. (2011). Adaptasi dan mitigasi perubahan iklim global. *Prasetya Online*, Issue November 2011.
- Blain, G. C. (2013). The modified Mann-Kendall test: on the performance of three variance correction approaches. *Bragantia*, 72(4), 416-425. <https://doi.org/10.1590/brag.2013.045>.
- Chandler, R. E. & Scott, E. M. (2011). *Statistical methods for trend detection and analysis in the environmental science*. Chichester UK: John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119991571>.
- da Silva, R. M., Santos, C. A. G., Moreira, M., Corte-Real, J., Silva, V. C. L., & Medeiros, I. C. (2015). Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's Slope Estimator statistical tests in the Cobres River basin. *Natural Hazards*, 77, 1205-1221. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1644-7>.
- Dhorde, A. & Gadgil, A. (2009). Long-term temperature trends at four largest cities of India during the twentieth Century. *J Ind Geophys Union*, 13(2), 85-95.
- Fadholi, A. (2011). Uji perubahan rata-rata suhu udara dan curah hujan di Kota Pangkalpinang. *Jurnal Matematika, Sains dan Teknologi*, 14(1), 11-25.
- Gavrilov, M. B., Tošić, I., Marković, S. B., Unkašević, M., & Petrović, P. (2016). Analysis of annual and seasonal temperature trends using the Mann-Kendall test in Vojvodina, Serbia. *Idojaras*, 120(2), 183-198.
- Gilbert, R. O. (1988). Statistical methods for environmental pollution monitoring. *Biometrics*, 44(1), 319-319. <https://doi.org/10.2307/2531935>.
- 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(1), 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>.
- Griffiths, M. L. & Bradley, R. S. (2007). Variations of twentieth-century temperature and precipitation extreme indicators in the northeast United States. *Journal of Climate*, 20(21), 5401-5417. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1594.1>.
- Haan, C. T. (1977). Statistical methods in hydrology. *Statistical Methods in Hydrology*, 41(1), 190-192. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(79\)90123-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(79)90123-9).
- Hamed, K. H. & Ramachandra Rao, A. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1-4), 182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X).
- Helsel, D. R. & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical Methods in Water Resources* (Laporan Hasil Penelitian). Reston: U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/twri04A3>.
- Hermawan, E. (2015). Fenomena urban heat island (UHI) pada beberapa kota besar di Indonesia sebagai salah satu dampak perubahan lingkungan global. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 7(1), 33-45.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Core Writing team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds)]. (Synthesis report). Geneva, Switzerland: IPCC.
- IPCC (2013). *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In Stocker, T.F., D. Qin, G. -K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Kendall, M.G. (1975). *Rank correlation methods* (4th Edition). London, UK: Charles Griffin.
- Kocsis, T., Kovács-Székely, I., & Anda, A. (2017). Comparison of parametric and non-parametric time-series analysis methods on a long-term meteorological data set. *Central European Geology*, 60(3), 316-332. <https://doi.org/10.1556/24.60.2017.011>.
- Kundzewicz, Z. W. & Radziejewski, M. (2006). Methodologies for trend detection (pp 538-549). *Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference*. Cuba, November 2006. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences.

- Mann, H. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259. doi:10.2307/19071887.
- Mangkuatmodjo, S. (1999). *Statistik lanjutan*. Banda Aceh: Penerbit Rineka Cipta.
- Marsitha, F. B., Pattipeilohy, W. J., & Virgianto, R. H. (2019). Kenyamanan termal klimatologis kota-kota besar di Pulau Sulawesi berdasarkan temperature humidity index (THI). *Jurnal Sainika Unpam: Jurnal Sains dan Matematika Unpam*, 1(2), 202-211. https://doi.org/10.32493/jsmu.v1i2.2384.
- Marwa, J., Sineri, A. S., & Hematang, F. (2020). Daya dukung bioekologi hutan dan lahan di Kabupaten Manokwari, Provinsi Papua Barat. *Sylva Lestari*, 8(2), 197–206.
- Meals, D. W., Spooner, J., Dressing, S. A., & Harcum, J. B. (2011). Statistical analysis for monotonic trends. *National Nonpoint Source Monitoring Program*, 1–23.
- Muharsyah, R. (2012). Deteksi kecenderungan perubahan temperatur menggunakan metode regresi linier dan uji Mann-Kendall di sejumlah wilayah Papua. *MegaSains*, 1.
- Nihayatin, L. Z. & Sutikno. (2013). Perbandingan uji homogenitas runtun data curah hujan sebagai pra-pemrosesan kajian perubahan iklim. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), 255-259. https://doi.org/10.12962/j23373520.v2i2.4851.
- Nugroho, S. (2019). Analisis iklim ekstrim untuk deteksi perubahan iklim di Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1),7-14. https://doi.org/10.14710/jil.17.1.7-14.
- Priambodo, B. (1990). Pengujian keandalan data curah hujan di daerah irigasi Cikeusik, Kabupaten Cirebon. *Agritech*, 10(3), 28–36. https://doi.org/https://doi.org/10.22146/agritech.19065.
- Rahmawati, U. (2017). *Analisis perubahan suhu udara menggunakan metode angka indeks di beberapa kota di Indonesia*. (Skripsi). Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Subarna, D. (2017). Analysis of long-term temperature trend as an urban climate change indicator. *Forum Geografi*, 31(2), 196–208. https://doi.org/10.23917/forgeo.v31i2.4189.
- Suryanto, J. (2018). Analisis kecenderungan curah hujan Kabupaten Magelang menggunakan uji Mann-Kendall dan variasi modifikasi Mann-Kendall. *AgriFor*, XVII(2), 293–304. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.
- Wang, Y., Ji, W., Yu, X., Xu, X., Jiang, D., Wang, Z., & Zhuang, D. (2014). The impact of urbanization on the annual average temperature of the past 60 years in Beijing. *Advances in Meteorology*, Article ID 374987, 1-9. https://doi.org/10.1155/2014/374987.
- Winarsa, A., Sumaryono, M., & Pambudhi, F. (2012). Sebaran dan kondisi hutan kawasan perkotaan serta pengaruhnya terhadap iklim mikro Manokwari. *Jurnal Kehutanan Tropika Humida*, 5(1), 1-14.
- World Meteorological Organisation. (2019). *WMO provisional statement on the status of the global climate in 2019* (Laporan Hasil Penelitian). Jenewa: World Meteorological Organisation.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*. https://doi.org/10.1002/hyp.1095.
- Yue, S. & Wang, C. Y. (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, 18, 201-218. https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60.