

ESTIMASI SUHU UDARA DI KABUPATEN MANOKWARI MENGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT 8

AN ESTIMATION OF AIR TEMPERATURE IN MANOKWARI USING LANDSAT 8 SATELLITE IMAGES

Mashudi¹, Arif Faisol^{2*}

¹Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Papua, Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari, 98314

²Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua, Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari, 98314

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

Naskah masuk: 08 Mei 2021

Naskah diperbaiki: 05 Juli 2021

Naskah diterima: 16 Februari 2022

ABSTRAK

Suhu udara merupakan parameter utama dalam penetapan lahan pertanian. Terbatasnya stasiun iklim mengakibatkan sebagian besar wilayah di Kabupaten Manokwari belum memiliki data suhu udara. Pemanfaatan citra satelit Landsat 8 merupakan salah satu solusi alternatif untuk menyediakan data suhu udara pada wilayah – wilayah yang belum memiliki stasiun iklim. Penelitian ini bertujuan untuk menguji performa citra satelit Landsat 8 dalam mengestimasi suhu udara maksimum dan suhu udara rata-rata di Kabupaten Manokwari. Suhu udara diestimasi menggunakan pendekatan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Pengujian dilakukan menggunakan 7 (tujuh) parameter statistik, yaitu *mean error* (ME), *mean absolute error* (MAE), *root mean square error* (RMSE), *relative bias* (RBIAS), *mean bias factor* (MBIAS), *percent bias* (PBIAS), dan *Pearson correlation coefficient* (r). Disamping itu dilakukan uji T berpasangan (*paired T-test*) untuk mengetahui signifikansi perbedaan antara suhu udara hasil estimasi citra satelit dengan suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim. Penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat 8 perekaman 2015 – 2020 sebanyak 33 scene dan data suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim. Hasil penelitian menunjukkan suhu udara maksimum dan suhu udara rata-rata hasil estimasi citra satelit Landsat 8 memiliki akurasi yang baik dengan nilai *error* ME = 0,50 °C, MAE = 2,73 °C, dan RMSE = 3,45 °C serta tingkat penyimpangan RBIAS = 0,09, MBIAS = 1,00, dan PBIAS = 9,16%. Disamping itu suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim meskipun memiliki korelasi yang lemah dengan nilai r = 0,31. Sehingga citra satelit Landsat 8 dapat digunakan sebagai solusi alternatif dalam penyediaan data suhu udara di Kabupaten Manokwari untuk mendukung pengembangan lahan pertanian.

Kata kunci: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), estimasi, suhu udara, citra satelit

ABSTRACT

Air temperature is the main parameter in determining agricultural land. However, most areas in Manokwari do not have air temperature data due to limited meteorological stations. The utilization of Landsat 8 satellite imagery is one of the alternative solutions for providing air temperature data. This study aims to examine the performance of Landsat 8 satellite imagery in estimating maximum and mean air temperature in Manokwari. The air temperature is estimated using the *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) approach. Seven (7) statistical parameters i.e *mean error* (ME), *mean absolute error* (MAE), *root mean square error* (RMSE), *relative bias* (RBIAS), *mean bias factor* (MBIAS), *percent bias* (PBIAS), and the *Pearson correlation coefficient* (r) are used in the test. Besides, a *paired T-test* was also used to determine the significance of the difference between the estimated and observed data. A total of 33 Landsat 8 satellite imagery recordings from 2015 to 2020 and air temperature data obtained from the climatological station were used. The results showed that the estimated temperature had good accuracy with ME = 0.50 °C, MAE = 2.73 °C, RMSE = 3.45 °C, RBIAS = 0.09, MBIAS = 1.00, and PBIAS = 9.16% compared with climatological data. Besides, the estimated temperature does not have a significant difference to observed data although it has a weak correlation with r = 0.31. Therefore, Landsat 8 satellite imagery can be used as an alternative solution in providing air temperature in Manokwari for supporting agricultural land development.

Keywords: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), air temperature, satellite imagery

1. Pendahuluan

Pemerintah telah menetapkan sektor pertanian sebagai salah satu prioritas pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020 – 2024 yang menekankan pada terjaganya ketahanan pangan nasional serta berkontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi yang berkualitas di Indonesia [1]. Untuk mewujudkan hal tersebut, pemerintah telah menetapkan sejumlah wilayah di Indonesia sebagai lokasi pengembangan kawasan pertanian nasional, diantaranya Kabupaten Manokwari ditetapkan sebagai lokasi pengembangan tanaman padi [2].

Suhu udara merupakan salah satu parameter utama yang digunakan dalam menetapkan suatu kawasan menjadi lahan pertanian [3]. Terbatasnya stasiun iklim di Kabupaten Manokwari mengakibatkan sebagian besar wilayah di Kabupaten Manokwari belum memiliki data suhu udara sehingga menjadi kendala dalam menentukan kawasan yang sesuai untuk pengembangan lahan pertanian.

Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) jumlah stasiun iklim di Kabupaten Manokwari sebanyak 1 stasiun [4]. Jika merujuk pada rekomendasi *World Meteorological Organization* (WMO) bahwa stasiun pengamat cuaca atau iklim hanya dapat digunakan untuk mewakili suatu wilayah seluas 100 km^2 – 1000 km^2 [5], maka Kabupaten Manokwari yang memiliki luas $\pm 3.168 \text{ km}^2$ [6] idealnya memiliki 4 stasiun iklim.

Pemanfaatan citra satelit merupakan sebuah solusi alternatif untuk mendapatkan data suhu udara pada wilayah – wilayah yang belum memiliki stasiun iklim [7-10]. Suhu udara dapat diestimasi dari citra satelit yang dilengkapi *band thermal infrared* dengan panjang gelombang $8,0 \mu\text{m}$ – $14,0 \mu\text{m}$ [11-13]. Beberapa citra satelit yang dilengkapi *band thermal infrared* diantaranya; *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), *Geostationary Environmental Satellite* (GOES), *LAND observation SATellite* (LANDSAT), *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), dan *National Oceanic and Atmospheric Administration – Advanced Very High-Resolution Radiometer* (NOAA – AVHRR) [14-17].

Penelitian tentang pemanfaatan citra satelit untuk estimasi suhu udara di Kabupaten Manokwari masih sangat sedikit. Faisol et al. menggunakan citra MODIS untuk mengestimasi suhu udara di Kabupaten Manokwari [18]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa suhu udara yang diestimasi dari citra MODIS memiliki akurasi yang baik yaitu sebesar 84% dibandingkan data hasil pengamatan pada stasiun iklim [18]. Selanjutnya Faisol et al.

memanfaatkan citra satelit untuk mengestimasi suhu udara di Provinsi Jawa Timur. Hasil penelitian menunjukkan suhu udara yang diestimasi dari citra satelit memiliki penyimpangan (bias) sebesar 7% dibandingkan data hasil pencatatan pada 8 (delapan) stasiun iklim di Jawa Timur [19]. Berdasarkan hasil penelitian Faisol et al., citra satelit memiliki prospek yang bagus untuk dimanfaatkan sebagai penyedia data suhu udara di Kabupaten Manokwari akibat terbatasnya stasiun iklim.

Citra satelit Landsat 8 merupakan generasi penerus dari Landsat 7 ETM+ yang mengalami kerusakan permanen pada sensornya [14]. Landsat 8 dilengkapi dengan sensor *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yang dapat menghasilkan data pada rentang panjang gelombang $0,433$ – $2,300 \mu\text{m}$ dengan resolusi spasial 30 meter (visible, NIR, SWIR), 100 meter (thermal), dan 15 meter (pankromatik) [14]. Citra satelit Landsat 8 memiliki wilayah liputan seluas $185 \text{ km} \times 185 \text{ km}$ dengan frekuensi perekaman setiap 16 hari [14].

Penelitian tentang pemanfaatan citra satelit Landsat 8 untuk mengestimasi suhu udara di Kabupaten Manokwari belum pernah dilakukan. Namun beberapa peneliti telah menguji kehandalan citra satelit Landsat 8 dalam mengestimasi suhu udara. Al-Anbari et al. memanfaatkan citra Landsat 8 untuk mengestimasi suhu udara di Babilonia – Irak. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa citra Landsat 8 memiliki akurasi yang cukup baik dalam mengestimasi suhu udara dengan nilai *error* sebesar $3,74^\circ\text{C}$ dibandingkan data hasil observasi [20]. Hough et al. memanfaatkan citra Landsat 8 untuk membangkitkan informasi suhu udara di Perancis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa citra Landsat 8 sangat akurat dalam mengestimasi suhu udara minimum dengan nilai R^2 sebesar 0,92 dan nilai *error* (MAE) sebesar $1,4^\circ\text{C}$, R^2 sebesar 0,97 dan nilai *error* (MAE) sebesar $1,3^\circ\text{C}$ dalam mengestimasi suhu udara rerata, dan R^2 sebesar 0,95 dan nilai *error* (MAE) sebesar $1,4^\circ\text{C}$ dalam mengestimasi suhu udara maksimum [21]. Lee et al. melaporkan bahwa citra Landsat 8 cukup akurat dalam mengestimasi suhu udara di Korea dengan nilai R^2 sebesar 0,76 dan nilai *error* (MAE) sebesar $2,36^\circ\text{C}$ dibandingkan data hasil observasi [22].

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kehandalan citra satelit Landsat 8 dalam mengestimasi suhu udara di Kabupaten Manokwari agar dapat digunakan sebagai solusi alternatif dalam penyediaan data suhu udara guna mendukung pengembangan lahan pertanian, khususnya pada wilayah yang belum tersedia stasiun iklim.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Secara umum penelitian ini terdiri atas 4 (empat) tahapan utama, yaitu; inventarisasi data, estimasi suhu udara, ekstraksi data, dan uji akurasi. Diagram alir penelitian ini disajikan pada Gambar 2.

Inventarisasi data. Tahapan ini bertujuan untuk melakukan inventarisasi citra Landsat 8 perekaman tahun 2015 - 2020 dan data suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim Rendani pencatatan tahun 2015 sampai tahun 2020.

Analisis data. Tahapan ini bertujuan untuk megestimasi suhu udara maksimum dan suhu udara rata-rata menggunakan citra satelit Landsat 8. Suhu udara diestimasi menggunakan pendekatan penutup lahan dengan persamaan sebagai berikut [23]:

$$T_m = 0,9731 T_s + 7,5878 \cdot NDVI - 5,0638 \cdot \cos \theta - 2,7233 \quad (1)$$

$$T_a = 0,9731 T_s + 7,5878 \cdot NDVI - 5,0638 \cdot \cos \theta - 5,7233 \quad (2)$$

Keterangan: T_m adalah suhu udara maksimum ($^{\circ}\text{K}$), T_a suhu udara rata-rata ($^{\circ}\text{K}$), T_s suhu permukaan lahan ($^{\circ}\text{K}$), $NDVI$ *Normalized Difference Vegetation Index* atau indeks vegetasi ternormalisasi, θ sudut zenit matahari (radian).

$NDVI$ dihitung menggunakan persamaan berikut [24]:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (3)$$

Keterangan: $NDVI$ adalah *Normalized Difference Vegetation Index*, ρ_{NIR} nilai reflektansi band *near-infrared*, dan ρ_{RED} nilai reflektansi band *red* (merah).

$NDVI$ citra satelit Landsat 8 dihitung menggunakan persamaan berikut [25]:

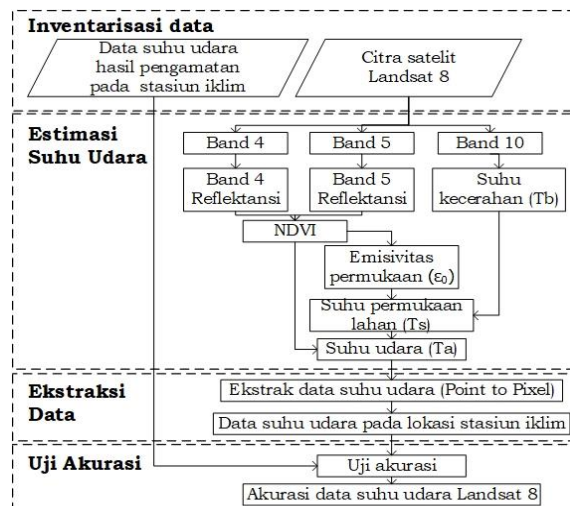
$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (4)$$

Keterangan: $NDVI$ adalah *Normalized Difference Vegetation Index*, ρ_5 nilai reflektansi band 5, dan ρ_4 nilai reflektansi band 4.

Ekstraksi data. Tahapan ini bertujuan untuk mengekstrak data suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 berdasarkan lokasi stasiun iklim. Ekstraksi data dilakukan menggunakan metode *point to pixel*.



Gambar 1. Lokasi penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Uji akurasi. Tahapan ini bertujuan untuk membandingkan data suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 dan data suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim. 7 (tujuh) parameter statistik yang digunakan untuk uji akurasi, yaitu; *mean error* (ME), *mean absolute error* (MAE), *root mean square error* (RMSE), *relative bias* (RBIAS), *mean bias factor* (MBIAS), *percent bias* (PBIAS), dan *Pearson correlation coefficient* (r). ME, MAE, dan RMSE digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan data suhu udara hasil estimasi citra Landsat 8 dibandingkan dengan data hasil pengamatan pada stasiun iklim. PBIAS digunakan untuk mengukur kecenderungan nilai yang dihasilkan oleh citra Landsat 8. RBIAS and MBIAS digunakan untuk menginterpretasi tingkat kebenaran data suhu udara hasil estimasi citra Landsat 8 dibandingkan data stasiun iklim. r digunakan untuk mengukur korelasi antara data suhu udara hasil estimasi citra Landsat 8 terhadap data hasil pengamatan pada stasiun iklim.

Parameter statistik tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut [26-29]:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (7)$$

$$RBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (8)$$

$$MBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (9)$$

$$PBIAS = 100 \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \right) \quad (10)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (11)$$

Keterangan: y_i adalah suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 pada waktu ke- i ($^{\circ}\text{C}$), $\bar{y}$ suhu udara rerata hasil estimasi citra satelit Landsat 8 pada periode tertentu ($^{\circ}\text{C}$), x_i suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim pada waktu ke- i ($^{\circ}\text{C}$), $\bar{x}$ suhu udara rerata hasil pengamatan stasiun iklim pada periode tertentu ($^{\circ}\text{C}$), dan n adalah jumlah data.

Nilai terbaik dari $ME = 0$, $MAE = 0$, $RMSE = 0$, $RBIAS = 0$, $MBIAS = 1$, $PBIAS = 0$, dan $r = 1$ [30-34]. Tingkat hubungan koefisien korelasi disajikan pada Tabel 1.

Suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 juga dianalisis menggunakan uji T berpasangan (*paired T-test*) untuk mengetahui signifikansi perbedaan antara suhu udara hasil estimasi dengan data hasil pengamatan pada stasiun iklim. Persamaan yang digunakan pada uji T adalah sebagai berikut [36-37]:

$$ts = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (12)$$

Keterangan : ts adalah nilai uji T, S_1 adalah nilai variansi kelompok 1, S_2 adalah nilai variansi kelompok 2, n_1 adalah banyaknya data kelompok 1, dan n_2 adalah banyaknya data kelompok 2.

Uji T dilakukan pada tingkat signifikansi (*level of significance*) sebesar 5% atau $\alpha = 0,05$. Jika nilai uji T (T_{hitung}) > nilai kritis (T_{tabel}) maka terdapat perbedaan yang signifikan antara suhu udara hasil estimasi dengan data hasil pengamatan pada stasiun iklim. Namun, jika nilai uji T (T_{hitung}) < nilai kritis (T_{tabel}) maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara suhu udara hasil estimasi dengan data hasil pengamatan pada stasiun iklim.

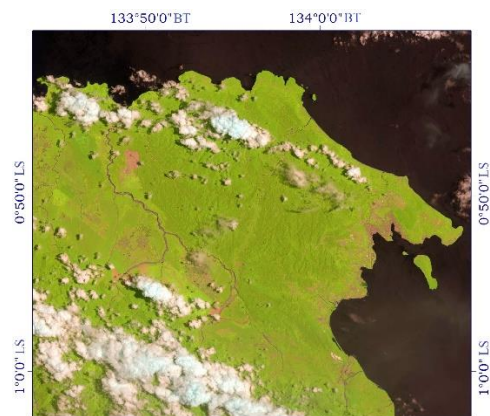
Tabel 1. Kategori koefisien korelasi [35]

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

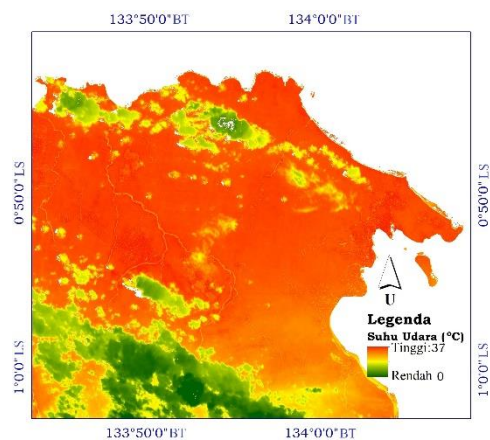
3. Hasil dan Pembahasan

Citra satelit Landsat 8 dapat menggambarkan distribusi suhu udara di Kabupaten Manokwari dengan sangat detail. Hal ini disebabkan citra satelit Landsat 8 memiliki resolusi spasial yang cukup tinggi, yaitu 30 m [14]. *Raw data* citra satelit Landsat 8 pada wilayah kajian perekaman tanggal 22 September 2020 dan distribusi spasial suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

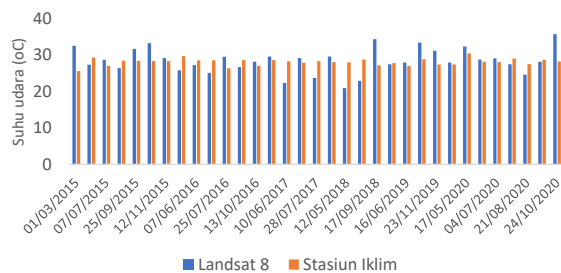
Suhu udara rata-rata yang diestimasi dari citra Landsat 8 cenderung *overestimated* jika dibandingkan dengan suhu udara rata-rata hasil pengamatan pada stasiun iklim. Hal ini disebabkan suhu udara yang diestimasi dari citra satelit dipengaruhi oleh waktu perekaman serta kondisi atmosfer pada saat perekaman, sedangkan suhu udara rata-rata hasil pengamatan pada stasiun iklim dipengaruhi oleh kondisi atmosfer sepanjang hari. Perbandingan antara suhu udara rata-rata hasil estimasi citra satelit Landsat 8 dengan pengamatan pada stasiun iklim disajikan pada Gambar 5.



Gambar 3. Raw data citra satelit Landsat 8.



Gambar 4. Distribusi spasial suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8.



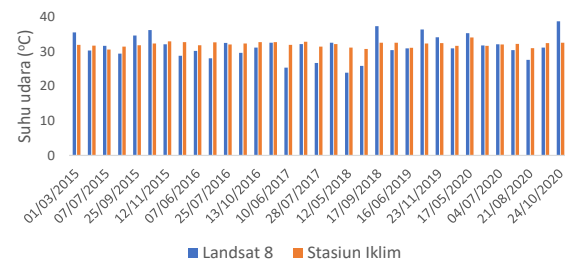
Gambar 5. Perbandingan suhu udara rata-rata antara suhu udara yang diestimasi hasil estimasi citra satelit Landsat 8 dengan pengamatan pada stasiun iklim.

Jika dibandingkan dengan suhu udara maksimum, suhu udara yang diestimasi dari citra Landsat 8 cenderung *underestimated*. Hal ini disebabkan perekaman citra satelit Landsat 8 untuk wilayah tropis umumnya dilakukan pada pukul 10:00 - 10:25 [14], sedangkan suhu udara maksimum tercapai beberapa saat setelah intensitas cahaya maksimum tercapai, yakni pada waktu tengah hari. Perbandingan antara suhu udara maksimum hasil estimasi citra satelit Landsat 8 dengan pengamatan pada stasiun iklim disajikan pada Gambar 6. Waktu perekaman citra satelit Landsat 8 pada kawasan Manokwari disajikan pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil uji statistik, suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 memiliki nilai *error* yang rendah dibandingkan data hasil pengamatan pada stasiun iklim. Nilai *error* rata-rata suhu udara hasil estimasi citra satelit sebesar $ME = 0,50^{\circ}C$, $MAE = 2,73^{\circ}C$, dan $RMSE = 3,45^{\circ}C$. Hasil penelitian ini relevan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Al-Anbari et al., Hough et al., dan Lee et al. [20-22]. Disamping itu suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 memiliki tingkat penyimpangan yang rendah dibandingkan data hasil pengamatan pada stasiun iklim. Rata-rata nilai penyimpangan suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 yaitu $RBIAS = 0,09$, $MBIAS = 1,00$, dan $PBIAS = 9,16\%$. Meskipun memiliki nilai *error* dan tingkat penyimpangan yang rendah, suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 memiliki korelasi yang lemah terhadap suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim. Hasil evaluasi suhu udara yang diestimasi dari citra Landsat 8 terhadap data hasil pengamatan pada stasiun iklim disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil uji T berpasangan, suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim. Hasil uji T berpasangan antara suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 dan suhu udara hasil pengamatan pada stasiun iklim pada tingkat signifikansi sebesar 5% disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan kondisi tersebut, citra satelit Landsat 8 dan metode NDVI memiliki performa yang baik dalam mengestimasi suhu udara di Kabupaten Manokwari, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai solusi alternatif dalam penyediaan data suhu udara di Kabupaten Manokwari khususnya pada wilayah yang belum tersedia stasiun iklim.



Gambar 6. Perbandingan suhu udara maksimum antara suhu udara yang diestimasi hasil estimasi citra satelit Landsat 8 dengan pengamatan pada stasiun iklim.



Gambar 7. Waktu perekaman citra satelit Landsat 8 untuk wilayah Manokwari.

Tabel 2. Hasil evaluasi suhu udara Landsat 8 terhadap data hasil pengamatan pada stasiun iklim

Parameter	Suhu udara rata-rata	Suhu udara maksimum	Rata-rata
ME	0,32	0,68	0,50
MAE	2,95	2,52	2,73
RMSE	3,68	3,21	3,45
RBIAS	0,10	0,08	0,09
MBIAS	1,10	0,98	1,00
PBIAS	10,49	7,83	9,16
r	0,14	0,47	0,31

Tabel 3. Hasil uji T berpasangan antara suhu udara hasil estimasi citra satelit Landsat 8 dan data hasil pengamatan pada stasiun iklim

Parameter	Suhu udara rata-rata	Suhu udara maksimum
Jumlah data	33	33
α	0,05	0,05
Rata-rata stasiun iklim	28,21	32,14
Rata-rata Landsat 8	28,32	31,32
Variansi stasiun iklim	0,70	0,54
Variansi Landsat 8	11,84	11,84
T-tabel	2,04	2,04
T-hitung	0,18	1,46

4. Kesimpulan

Citra satelit Landsat 8 sangat handal dalam mengestimasi suhu udara di Kabupaten Manokwari sehingga dapat digunakan sebagai solusi alternatif dalam penyediaan data suhu udara di Kabupaten Manokwari khususnya pada wilayah yang belum tersedia stasiun iklim.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Papua yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Asisten Ahli tahun anggaran 2021 dengan nomor keputusan SP-111/UN42/PG/ 2021.

Daftar Pustaka

- [1] Bappenas, “Rancangan Teknokratik Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020 - 2024 : Indonesia Berpenghasilan Menengah - Tinggi Yang Sejahtera, Adil, dan Berkesinambungan,” 2019. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [2] Menteri Pertanian, “Keputusan Menteri Pertanian RI Nomor 830/Kpts/RC.040/12/2016 Tentang Lokasi Pengembangan Kawasan Pertanian Nasional,” Jakarta, 2016.
- [3] S. Ritung, K. Nugroho, A. Mulyani, and E. Suryani, *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian*, 2nd ed. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2011.
- [4] BMKG, “Metadata Stasiun,” 2018. https://dataonline.bmkg.go.id/mcstation_metadata (accessed Nov. 07, 2018).
- [5] World Meteorological Organization, *Commission for Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 1064)*, no. 1064. 2010.
- [6] BPS Kabupaten Manokwari, “Kabupaten Manokwari Dalam Angka 2021,” Manokwari, 2021.
- [7] M. R. Khomarudin, A. Bey, and I. Risdiyanto, “Estimation of Air Temperature Using Remote Sensing Based on Thermal Diffusivity Approach,” *Remote Sens. Earth Sci.*, vol. 3, no., pp. 24–30, 2006, doi: 10.30536/j.jjreses.2006.v3.a1203.
- [8] S. Liu, H. Su, R. Zhang, J. Tian, and W. Wang, “Estimating the Surface Air Temperature by Remote Sensing in Northwest China Using an Improved Advection-Energy Balance for Air Temperature Model,” *Adv. Meteorol.*, vol. 2016, p. 11 p, 2016, doi: 10.1155/2016/4294219.
- [9] M. Gholamnia, S. K. Alavipanah, A. D. Boloorani, S. Hamzeh, and M. Kiavarz, “Diurnal air temperature modeling based on the land surface temperature,” *Remote Sens.*, vol. 9, no. 915, p. p 12, 2017, doi: 10.3390/rs9090915.
- [10] R. H. Al-Anbari, O. Z. Jasim, and Z. T. Mohammed, “Estimation High Resolution Air Temperature Based on landsat8 images and Climate Datasets,” in *2nd International Conference on Sustainable Engineering Techniques (ICSET 2019)*, 2019, vol. 518, no. 2, p. p 9, doi: 10.1088/1757-899X/518/2/022033.
- [11] C. J. Tomlinson, L. Chapman, E. Thornes, and C. Baker, “Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology : a review,” *Meteorol. Appl.*, no. 18, pp. 296–306, 2011, doi: 10.1002/met.287.
- [12] A. Faisol, B. Budiyo, I. Indarto, and E. Novita, “Utilization of MODIS Surface Reflectance to Generate Air Temperature Information in East Java - Indonesia,” *Geoplanning J. Geomatics Plan.*, vol. 7, no. 1, pp. 37–46, 2020, doi: 10.14710/geoplanning.7.1.25-36.
- [13] Q. Vanhellemont, “Automated water surface temperature retrieval from Landsat 8/TIRS,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 237, p. p 10, 2020, doi: 10.1016/j.rse.2019.111518.
- [14] Department of the Interior U.S. Geological Survey, *Landsat 8 (L8) Data User Handbook*, 2nd ed. U.S. Geological Survey, 2016.
- [15] M. Abrams and S. Hook, *ASTER User Handbook*. California: Jet Population Library, 2003.
- [16] European Space Agency, “GOES-R (Geostationary Operational Environmental Satellite-R) 3rd Generation Series,” 2018. <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/g/goes-r>.
- [17] NASA, *NOAA KLM User's Guide*, no. August 2014. 2014.
- [18] A. Faisol, Indarto, E. Novita, and Budiyo, “Pemanfaatan Citra Satelit untuk Membangkitkan Informasi Suhu Udara Guna Mendukung Pengelolaan Sumberdaya Air,” in *Peran Keanekaragaman Hayati untuk Mendukung Indonesia sebagai Lumbung Pangan Dunia*, 2018, vol. 2, no. 1, p. B.10-B.18.
- [19] A. Faisol, B. Budiyo, I. Indarto, and E. Novita, “Ekstraksi Data Suhu Udara Menggunakan Citra Satelit Multispektral dan Model Builder (Studi Kasus di Provinsi Jawa Timur),” in *Seminar Nasional Geomatika 2020: Informasi Geospasial untuk Inovasi Percepatan Pembangunan Berkelanjutan*, 2020, vol. 2020, no. 18, pp. 283–296.

- [20] R. H. Al-Anbari, O. Z. Jasim, and Z. T. Mohammed, "Estimation High Resolution Air Temperature Based on Landsat 8 images and Climate Datasets," in *2nd International Conference on Sustainable Engineering Techniques (ICSET 2019)*, 2019, vol. 518, no. 2, doi: 10.1088/1757-899X/518/2/022033.
- [21] I. Hough, A. Just, B. Zhou, M. Dorman, J. Lepeule, and I. Kloog, "A multi-resolution air temperature model for France from MODIS and Landsat thermal data," *Environ. Res.*, vol. 183, no. April, p. 109244, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109244>.
- [22] S. B. Lee, D. Lee, J. Kim, and J. Kim, "Development and Validation of a Daily Maximum Temperature Estimation Algorithm Using Landsat-8," in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2018*, 2018, pp. 2523–2526, doi: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8518682>.
- [23] S. Hong, "Mapping Regional Distributions of Energy Balance Components Using Optical Remotely," New Mexico Institute of Mining and Technology, 2008.
- [24] J. G. Liu and P. J. Mason, *Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing*, 1st ed. Hoboken: Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- [25] US Geological Survey, "Landsat Normalized Difference Vegetation Index," 2019. https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con.
- [26] C. J. Willmott and K. Matsuura, "Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance," *Clim. Res.*, vol. 30, no. 1, pp. 79–82, 2005, doi: 10.3354/cr030079.
- [27] S. L. Jackson, *Research Methods and Statistics : A Critical Thinking Approach*, 3rd ed. Belmont: Wadsworth, 2009.
- [28] M. Gierlinski, *Understanding Statistical Error: A Primer for Biologists*, 1st ed. Hoboken: Jhon Wiley & Son Ltd, 2016.
- [29] A. Faisol, I. Indarto, E. Novita, and B. Y. Budiyo, "An evaluation of modis global evapotranspiration product (MOD16A2) as terrestrial evapotranspiration study in Manokwari-West Papua-Indonesia," *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 15, no. 4, pp. 510–513, 2020.
- [30] E. Omranian, H. O. Sharif, and A. A. Tvakoly, "How Well Can Global Precipitation Measurement (GPM) Capture Hurricanes ? Case Study : Hurricane Harvey," *Remote Sens.*, p. 14, 2018, doi: 10.3390/rs10071150.
- [31] R. Saeidizand, S. Sabetghadam, E. Tarnavsky, and A. Pierleoni, "Evaluation of CHIRPS Rainfall Estimates over Iran," *Adv. Remote Sens. pf Rainfall Snowfall*, vol. 144, no. May, pp. 282–291, 2018, doi: 10.1002/qj.3342.
- [32] L. C. Lelis, R. W. D. Bosquilia, and S. N. Duarte, "Assessment of Precipitation Data Generated by GPM and TRMM Satellites," *Rev. Bras. Meteorol.*, vol. 33, no. 1, pp. 153–163, 2018.
- [33] R. Wang, J. Chen, and X. Wang, "Comparison of IMERG Level-3 and TMPA 3B42V7 in Estimating Typhoon-Related Heavy Rain," *Water*, vol. 9, no. 276, pp. 1–15, 2017, doi: 10.3390/w9040276.
- [34] F. J. P. Trejo, H. A. Barbosa, M. A. Peñaloza-Murillo, M. A. Moreno, and A. Farías, "Intercomparison of Improved Satellite Rainfall Estimation with CHIRPS Gridded Product and Rain Gauge Data over Venezuela," *Atmósfera*, vol. 29, no. 4, pp. 323–342, 2016, doi: 10.20937/ATM.2016.29.04.04.
- [35] M. A. Azka, P. A. Sugianto, A. K. Silitonga, and I. R. Nugraheni, "Uji Akurasi Produk Estimasi Curah Hujan Satelit GPM IMERG di Surabaya, Indonesia," *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 19, no. 2, pp. 83–88, 2018.
- [36] D. Machiwal and M. K. Jha, *Hydrologic Time Series Analysis: Theory and Practice*, 1st ed. New Delhi: Springer International Publishing, 2012.
- [37] Nuryadi, T. D. Astuti, E. S. Utami, and M. Budiantara, *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*, 1st ed. Yogyakarta: Sibuku Media, 2017.