

EVALUASI HASIL ESTIMASI SUHU UDARA DARI DATA SATELIT NOAA-18 AVHRR DI PULAU SUMATERA, KALIMANTAN DAN JAWA

EVALUATION OF ESTIMATING AIR TEMPERATURE WITH NOAA-18 AVHRR DATA IN SUMATERA, KALIMANTAN AND JAVA ISLANDS

Parwati Sofan*, Suwarsono, Fajar Yulianto, Kusumaning Ayu DS, dan Indah Prasasti
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Jl. Kalisari no. 8 Pekayon Pasar Rebo, Jakarta
Pos-el: parwati@lapan.go.id

ABSTRACT

The air temperature is one of the key parameters in environmental studies and has been used in many applications such as epidemic studies, hydrology, vegetation, and climate change. Air temperature data is one of weather parameters that obtained from meteorological observation station which has rare distribution and limited. It is difficult to have spatial information of air temperature especially in the location where there is no meteorological station existed. The satellite remote sensing data have ability in providing the spatial information with their spatial resolution, and also able to give air temperature estimation near surface using their spectral characteristics. Many researches have analyzed the relationship between land surface temperature and air temperature that has not directly influenced each others. In this study, we derive the land surface temperature using split window algorithm from NOAA-18 AVHRR in Java, Sumatera, and Kalimantan Islands. The estimated temperature from NOAA data is assumed as the maximum temperature due to its acquisition around 1.00 pm. The in situ air temperature observed from meteorological station in daily term and was analyzed in order to know the relationship between estimated air temperature based on NOAA-AVHRR and the observed air temperature. The result showed that they have low relationship directly, but by adding vegetation index-NDVI and elevation data, DEMS-RTM as the correction factors have been significantly increased the correlation.

Keywords: air temperature, land surface temperature, NDVI, DEM SRTM, NOAA-18/AVHRR

ABSTRAK

Suhu udara merupakan salah satu parameter penting dalam pemodelan studi lingkungan dan telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi penelitian seperti kajian epidemis, hidrologi, vegetasi, dan perubahan iklim. Data suhu udara sebagai salah satu unsur cuaca umumnya diperoleh melalui stasiun pengamat meteorologi yang distribusi lokasinya sangat jarang dan tidak merata sehingga menyebabkan sulitnya mendapatkan informasi cuaca secara spasial terutama di wilayah yang tidak terdapat stasiun pengamat cuaca. Data satelit penginderaan jauh mempunyai kelebihan dalam memberikan informasi secara spasial, dan dengan kemampuan karakteristik spektralnya dapat dimanfaatkan dalam estimasi suhu udara yang berada dekat dengan permukaan lahan. Banyak Penelitian telah menghubungkan antara suhu permukaan lahan dengan suhu udara di atasnya meskipun secara nyata keduanya tidak dapat langsung saling mempengaruhi. Pada penelitian ini suhu permukaan lahan diolah dari data NOAA-18/AVHRR menggunakan persamaan split window algorithm yang diaplikasikan di wilayah Pulau Jawa, Sumatera, dan Kalimantan. Suhu udara yang diestimasi dari data NOAA diasumsikan sebagai data suhu maksimum harian karena merekam data sekitar jam 13.00 WIB. Data suhu udara diperoleh dari stasiun meteorologi secara harian dan dianalisis secara statistik untuk mengetahui hubungan diantara keduanya. Hasil studi menunjukkan bahwa secara langsung hubungan antara suhu udara dan suhu permukaan lahan relatif rendah, dibandingkan dengan menambahkan faktor indeks vegetasi NDVI dan data ketinggian dari DEM SRTM yang menghasilkan korelasi yang lebih baik.

Kata kunci: suhu udara, suhu permukaan lahan, NDVI, DEM SRTM, NOAA-18/AVHRR

PENDAHULUAN

Suhu udara merupakan salah satu faktor penting dalam pemodelan lingkungan dan telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi yang terkait dengan proses biologi dan fisika di hidrosfer, atmosfer, dan biosfer.¹ Standard pengukuran data

suhu udara umumnya diperoleh dari stasiun pengamatan cuaca yang diukur dengan termometer dalam sangkar cuaca yang berada di atas 2 m dari permukaan lahan.² Data suhu udara tersebut ditampilkan sebagai data titik (*point samples*) dimana tidak dapat merepresentasikan

variasi secara spasial pada suatu wilayah karena distribusi stasiun meteorologi yang sangat jarang dan terbatas. Data satelit penginderaan jauh mempunyai kelebihan dalam memberikan informasi secara spasial, dan dengan kemampuan karakteristik spektralnya dapat dimanfaatkan dalam estimasi suhu udara di dekat permukaan lahan.³

Perkembangan data dan teknologi satelit penginderaan jauh untuk menjawab tantangan menyediakan informasi alternatif selain data hasil pengamatan di lapangan telah berkembang pesat. Kemampuan data satelit untuk mengestimasi parameter permukaan lahan pada resolusi temporal tinggi (harian) dan resolusi spasial 1 km telah berkembang setelah meluncurnya *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* yang dibawa oleh satelit *National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA)* pada tahun 1980-an, dan juga *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* dari satelit Terra/Aqua sejak tahun 2000-an. Karakteristik spektral yang dimiliki oleh data AVHRR dan MODIS mampu mencirikan respons reflektansi setiap spektrum radiasi terhadap obyek di permukaan bumi, sehingga dapat memberikan informasi permukaan lahan, diantaranya suhu permukaan lahan dan tingkat kehijauan vegetasi.³

Estimasi suhu udara di atas permukaan lahan (T_a) berdasarkan data satelit penginderaan jauh dilakukan secara tidak langsung melalui suhu permukaan lahan (T_s) yang diturunkan dari spektrum thermal.⁴ Sensor AVHRR pada satelit NOAA ditujukan untuk pengamatan awan dan permukaan laut serta daratan pada skala resolusi spasial 1 km dengan spektrum *visible* dan *infrared*. Data NOAA-AVHRR mempunyai spektrum *Thermal Infrared (TIR)* pada kanal 4 dan 5 yang dapat dimanfaatkan untuk kajian aplikasi suhu permukaan laut/darat (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik Kanal Spektrum pada NOAA-AVHRR (Sumber: NOAA)

Spektrum	Kanal	Wavelength (µm)	Aplikasi
Visible	1	0.58-0.68	awan, salju, dan pemantauan es
Near IR	2	0.725-1.10	air, vegetasi, dan survey pertanian
Short Wave IR	3A	1.58-1.64	salju, es, dan pemisahan awan
Medium Wave IR	3B	3.55-3.93	suhu permukaan laut, gunungapi, kebakaran hutan
Thermal IR	4	10.3-11.3	suhu permukaan laut/darat, kadar air tanah
Thermal IR	5	11.3-12.5	suhu permukaan laut/darat, kadar air tanah

Prinsip mekanisme penurunan informasi suhu permukaan lahan dari data satelit adalah bahwa setiap objek di permukaan bumi yang memiliki suhu lebih dari 0 K atau - 273 ° C memancarkan radiasi. Hukum Planck menyatakan bahwa besarnya emisi radiasi yang dipancarkan oleh suatu obyek tergantung pada suhu dan emisivitasnya. Obyek bersuhu rendah dengan emisivitas tinggi dapat memancarkan energi radiasi yang sama dengan obyek yang bersuhu tinggi dengan emisivitas rendah. Obyek hitam sempurna (*black body*) diasumsikan sebagai radiator ideal yang sempurna menyerap dan mengemisikan semua energi, sehingga emisivitasnya 1. Umumnya obyek di alam ini disebut sebagai *gray bodies*, yang mengemisikan sebagian dari energi maksimum *black body* yang dimilikinya pada suhu tertentu. Suhu yang diukur tersebut biasanya disebut dengan suhu radian, suhu kecerahan (*brightness temperature*), atau suhu radian di atas atmosfer (*top of the atmosphere temperature/TOA*).⁵ Suhu kecerahan dikalkulasi dengan cara membalikkan (*invers*) formula Planck, sebagai berikut:

$$T = \frac{c_2 v_c}{\left[\ln \left(\frac{c_1 v_c^3}{B_\lambda} + 1 \right) \right]} \quad (1)$$

dengan

T = temperature of emitting surface (°K),

v_c = central wavenumber (cm),

c_1 = 1.191044×10^{-8} (W/m²/ster/cm⁻⁴),

c_2 = 1.438769 (cm deg K),

B_λ = radian pada panjang gelombang tertentu.

Suhu radian yang dikalkulasi dari energi radian yang diemisikan, pada umumnya bernilai lebih rendah dibandingkan dengan suhu permukaan yang sebenarnya (*kinetic temperature*), yang bisa diukur dengan menggunakan termometer tanah. Emisivitas obyek permukaan lahan perlu diketahui untuk menghitung *kinetic temperature* dari nilai suhu radian.⁵

Metode *Split window* merupakan metode yang banyak digunakan dalam estimasi suhu permukaan lahan, karena di dalamnya terdapat koreksi terhadap gangguan atmosferik sehingga didapatkan estimasi suhu permukaan yang lebih baik dari data satelit penginderaan jauh. Algoritma khusus telah dikembangkan untuk AVHRR^{5,6,7} dengan akurasi sebesar 1 Kelvin untuk aplikasi di darat.⁸

Ada 3 cara mengestimasi T_a berdasarkan T_s , yaitu:⁹ (1) Pendekatan statistik dengan teknik

regresi sederhana antara T_a dan T_s baik dari data AVHRR maupun MODIS yang menghasilkan korelasi tinggi,^{10,11,12} atau regresi linear berganda dengan beberapa parameter seperti ketinggian permukaan, sudut zenith matahari, dan tanggal data,^{13,14} (2) Pendekatan suhu dengan indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI),¹⁵ (3) Pendekatan keseimbangan energy.¹⁶

Pendugaan suhu udara dari data NOAA-AVHRR di Sumatera dan Kalimantan berdasarkan metode pendekatan regresi linear berganda antara T_a dari data stasiun meteorologi T_s NOAA-AVHRR dan, NDVI, *Julian date*, dan elevasi permukaan dari data DEM SRTM telah dilakukan¹⁷. Korelasi hasil estimasi suhu udara dari data NOAA pada penelitian tersebut mencapai 0.6. Model estimasi suhu udara tersebut telah diaplikasikan sebagai input dari sistem peringkat bahaya kebakaran hutan/lahan berdasarkan data penginderaan jauh di wilayah P. Sumatera dan Kalimantan sejak tahun 2005 hingga sekarang di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh.

Sulitnya mendapatkan data NOAA pada malam hari untuk mengkalkulasi suhu udara rata-rata harian menjadi dasar penelitian ini untuk melakukan analisis hubungan antara suhu maksimum yang diperoleh dari data NOAA pada siang hari dengan data suhu udara rata-rata harian dari data stasiun meteorologi di lapangan. Dengan diperolehnya faktor konversi tersebut diharapkan dapat memudahkan operasional kegiatan monitoring suhu harian dari data satelit penginderaan jauh.

METODOLOGI

Lokasi dan Data

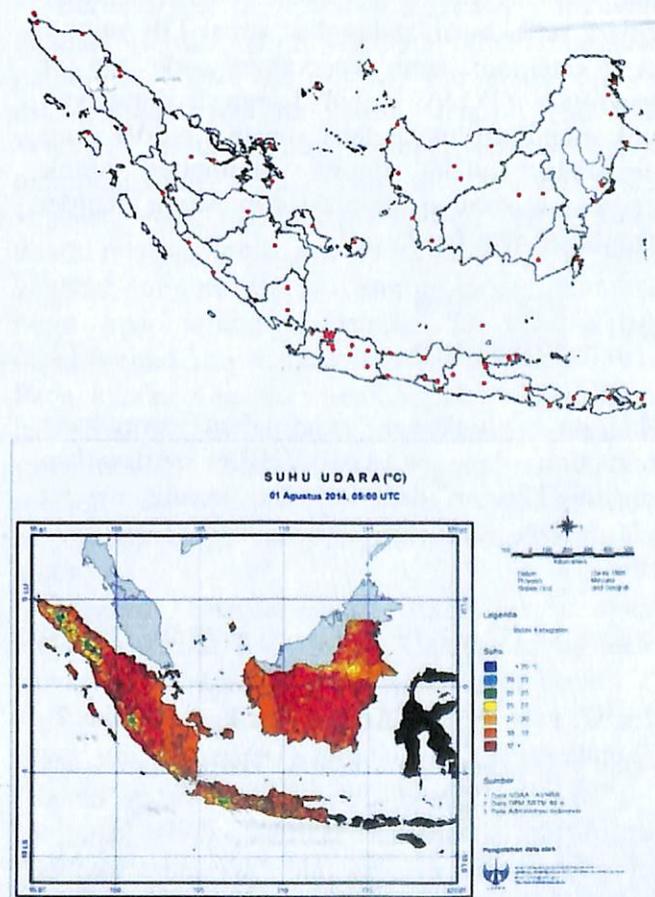
Pada studi ini digunakan data satelit NOAA-18 sensor AVHRR dengan format data level L1-B yang diakuisisi oleh Stasiun bumi Lapan sekitar pukul 13.40 setiap harinya selama tahun 2014. Asumsinya bahwa suhu tersebut merupakan suhu maksimum harian yang dapat diestimasi oleh data NOAA-AVHRR. Resolusi spasial data AVHRR adalah 1.1 km x 1.1 km.

Cakupan area studi meliputi wilayah P. Sumatera, Jawa, dan Kalimantan. Selain data NOAA-18 AVHRR, juga digunakan data dari satelit Terra dengan sensor MODIS level 2 yaitu berupa indeks vegetasi NDVI dengan periode 16 harian. Data indeks vegetasi 16 harian digunakan dengan alasan bahwa fluktuasi perubahan indeks vegetasi dapat direpresentasikan dalam periode

16 harian dibandingkan 1 harian. Resolusi spasial data MODIS adalah 1 km x 1 km.

Data MODIS dan Digital Elevation Model (DEM) dari Satelit Shuttle Radar Thematic Mapper (SRTM) digunakan sebagai pendukung analisis informasi estimasi suhu udara dari data AVHRR. Resolusi spasial data DEM SRTM adalah 90 m, namun pada kajian ini dijadikan 1 km melalui teknik interpolasi spasial agar analisisnya sama dengan AVHRR dan MODIS yaitu berbasis resolusi spasial 1 km.

Data hasil pengamatan suhu udara rata-rata diperoleh dari stasiun meteorologi di Sumatera, Kalimantan, dan Jawa sejumlah 38 stasiun yang diekstraksi harian pada periode Januari-Desember 2014.



Gambar 1. Lokasi stasiun meteorologi (titik merah) di Sumatera, Jawa dan Kalimantan (atas), dan contoh hasil estimasi suhu udara dari data NOAA-AVHRR (bawah).

Metode

Pada studi ini secara umum pengolahan dan analisis data dibagi menjadi dua tahap, yaitu estimasi suhu udara dari AVHRR dan analisis evaluasi hasil estimasi suhu udara. Pada studi ini, acuan model estimasi suhu udara yang digunakan adalah berdasarkan model yang dikembangkan oleh Khomarudin,¹⁷ sehingga dalam tahap

pertama dilakukan pengolahan data AVHRR dari pengolahan awal hingga menghasilkan estimasi suhu udara. Pada tahap kedua, hasil estimasi suhu udara yang diperoleh pada tahap pertama akan dianalisis akurasi terhadap data suhu udara hasil pengamatan stasiun meteorologi. Perlu dicermati bahwa terdapat hasil estimasi suhu udara dari NOAA diakuisisi pada sekitar 13.40 WIB atau pada saat suhu udara maksimum, sedangkan data suhu udara dari stasiun meteorologi yang digunakan adalah data suhu udara rata-rata harian.

Pada tahap pertama, data AVHRR level 1B diolah dengan menggunakan *software* pengolahan data satelit untuk koreksi radiometrik dan geometrik. Setelah itu dilakukan transformasi Nilai Digital kanal 1 (*visible*) dan 2 (NIR) menjadi reflektansi, sedangkan kanal TIR yaitu 4 dan 5 menjadi suhu kecerahan pada *top of atmosphere* (TOA). Kanal 1 dan 2 digunakan untuk menghasilkan indeks vegetasi NDVI yang merupakan indeks umum digunakan untuk mengetahui kondisi vegetasi dari satelit dengan formula sebagai berikut:¹⁸

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

Selanjutnya dilakukan pengolahan permukaan lahan dari data NOAA-AVHRR berdasarkan algoritma Ulivieri⁶ dengan asumsi kondisi uap air pada kolom atmosfer kurang dari 3.0 g/cm² yaitu:⁷

$$T = T_4 + 1.8(T_4 - T_5) + 48(1 - \epsilon) - 75\Delta\epsilon \quad (3)$$

dimana $\epsilon = \frac{\epsilon_4 + \epsilon_5}{2}$, $\Delta\epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5$, T_4 dan T_5 adalah suhu kecerahan dari AVHRR kanal 4 dan 5, ϵ dan $\Delta\epsilon$ adalah rata-rata koefisien emisi spektral dan selisih dari koefisien emisi kanal 4 dan 5, ϵ_4 dan ϵ_5 adalah koefisien emisi permukaan yang diestimasi dari NDVI yang terkoreksi atmosferik dengan kanal 4 dan 5 berdasarkan persamaan dari Valor dan Casselles¹⁹ sebagai berikut:

$$\epsilon_4 = 0.9897 + 0.029 \ln(NDVI) \quad (4)$$

$$\epsilon_5 - \epsilon_4 = 0.01019 + 0.01344 \ln(NDVI) \quad (5)$$

Setelah suhu permukaan lahan didapatkan dari AVHRR, maka langkah selanjutnya adalah mengestimasi suhu udara berdasarkan input suhu permukaan lahan dari data AVHRR dengan

model estimasi liner berganda yang dikembangkan oleh Khomarudin.¹⁷

Pada tahap kedua, hasil estimasi suhu udara dari AVHRR kemudian diekstrak berdasarkan 38 lokasi koordinat stasiun meteorologi dengan buffer 1 km dari setiap titik stasiun. Nilai statistik yang digunakan untuk mengekstraksi suhu udara pada *buffer* 1 km adalah nilai rata-rata. Selanjutnya dilakukan analisis korelasi dan regresi antara suhu udara observasi dengan suhu udara hasil estimasi AVHRR selama periode 1 tahun (2014). Koefisien korelasi dapat diperoleh dengan formula sebagai berikut:

$$\rho_{x,y} = \frac{Cov(x,y)}{(\sigma_x \sigma_y)} \quad (6)$$

dengan:

$$-1 \leq \rho_{x,y} \leq 1,$$

$$Cov(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y),$$

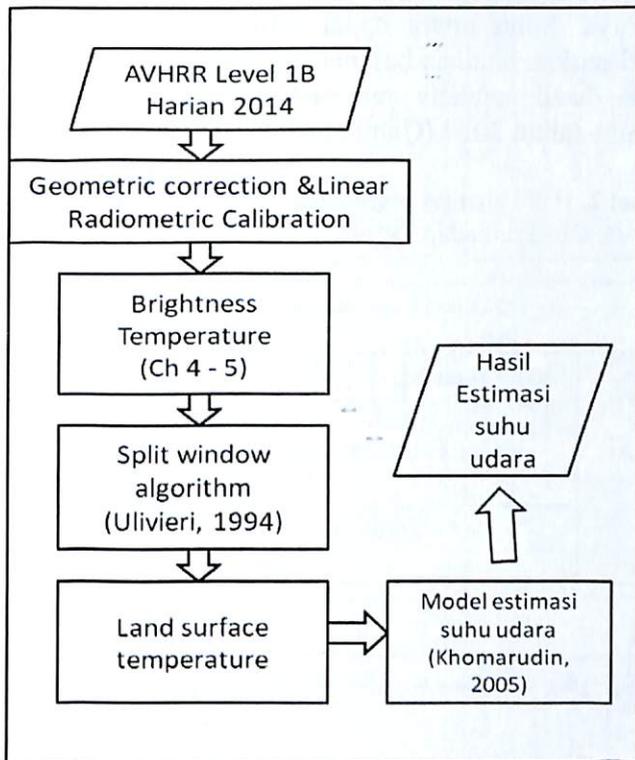
- x = data estimasi suhu udara dari AVHRR,
- y = suhu udara observasi lapangan,
- ρ = koefisien korelasi (atau biasa ditulis dalam notasi huruf kecil r),
- n = jumlah data,
- i = data ke-i,
- $\mu_x \mu_y$ = nilai rata-rata (mean) dari x dan y.

Selain itu pada analisis akurasi juga dilakukan penambahan parameter pengujian yaitu NDVI MODIS 16 harian dan DEM SRTM sebagai peubah bebas X2 dan X3. Nilai NDVI MODIS diekstraksi dengan buffer 1 km untuk dianalisis nilai maksimumnya, sedangkan DEM SRTM digunakan nilai rata-ratanya.

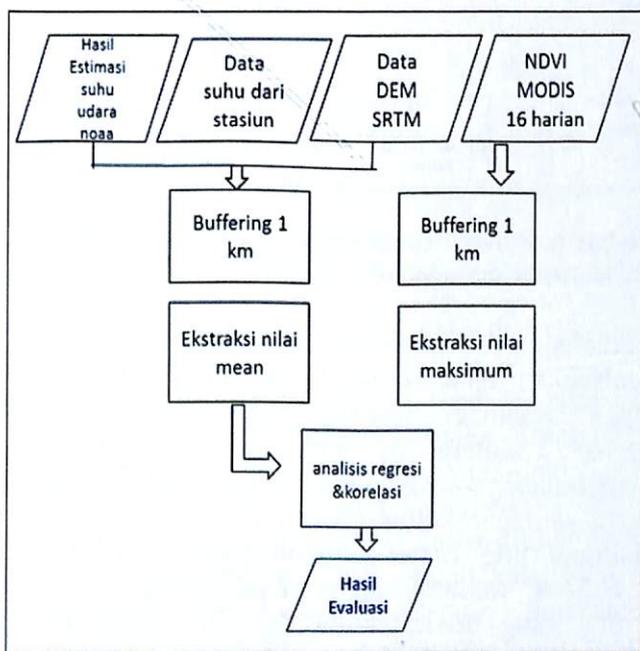
Diagram alir pengolahan data dan analisis pada studi evaluasi suhu udara dari NOAA ini dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil scatter plot antara suhu udara rata-rata hasil observasi lapangan (T_{a_obs}) dengan suhu maksimum yang diestimasi dari data NOAA (T_{a_NOAA}) periode tahun 2014 di wilayah Sumatera, Kalimantan, dan Jawa dapat dilihat pada Gambar 4. Secara umum dapat dilihat dari scatter plot dan tren analisis linier pada Gambar 4 bahwa T_{a_NOAA} lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan T_{a_obs} . Oleh karenanya untuk mengestimasi suhu harian dari data suhu maksimum diperlukan faktor koreksi yang dapat diperoleh dengan analisis regresi dan korelasi.

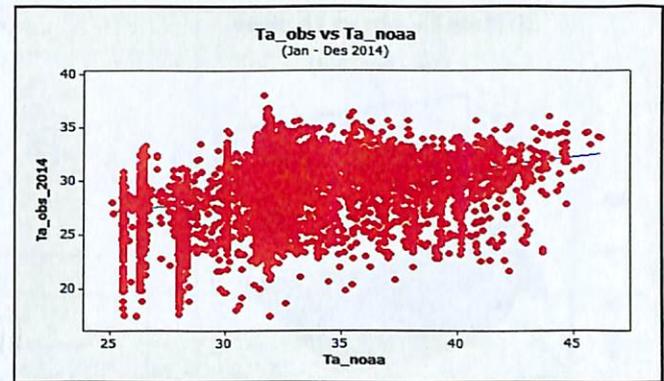


Gambar 2. Diagram alir estimasi suhu udara



Gambar 3. Diagram alir pengolahan data dan analisis pada studi evaluasi suhu udara dari NOAA.

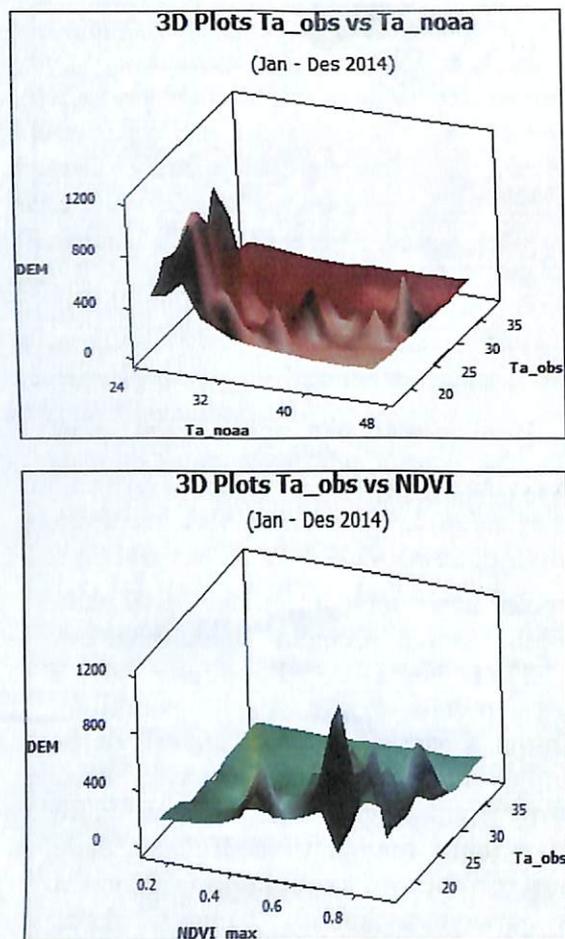
Hasil analisis regresi dan korelasi dengan tingkat kepercayaan 95 % menunjukkan 7.4 % dari data Ta_NOAA dapat merepresentasikan Ta_obs, sedangkan korelasi diantara keduanya juga rendah hanya 0.27. Persamaannya adalah sebagai berikut: $Ta_{obs_2014} = 20.7 + 0.256 Ta_{noaa}$; $R-sqr = 7.4 \%$; $r = 0.27$.



Gambar 4. Hasil scatter plot antara suhu udara observasi (Ta_obs) dengan suhu maksimum estimasi NOAA periode tahun 2014.

Berdasarkan hasil tersebut, maka dilakukan analisis lebih lanjut dengan menambahkan parameter NDVI dan DEM. Parameter NDVI ditambahkan merfer pada hasil penelitian Wenbin¹⁵ dimana suhu kanopi vegetasi dapat mempengaruhi suhu udara di atasnya. Pada vegetasi yang mempunyai kanopi rapat, suhu udara relative lebih rendah dibandingkan pada vegetasi yang mempunyai kanopi jarang. Kondisi rapat atau jarangnnya kanopi vegetasi dapat direpresentasikan dengan indeks vegetasi NDVI. Pada kanopi vegetasi rapat, indeks vegetasinya lebih tinggi dibandingkan dengan kanopi vegetasi yang jarang. Sementara itu, parameter DEM sebagai representasi data ketinggian/elevasi permukaan juga berpengaruh terhadap suhu udara.

Menurut Sitaniapessy,²⁰ suhu udara akan menurun sekitar 0.62 derajat Celcius setiap naik elevasi permukaan 100 m. Hasil plot secara 3 dimensi antara Ta_NOAA, Ta_obs, dan DEM dapat dilihat pada Gambar 5 (atas) bahwa Ta_NOAA pada nilai kurang dari 30 derajat Celsius terdapat pada DEM lebih dari 400 m dpl, sedangkan Ta_NOAA di atas 32 derajat Celcius berada pada DEM di bawah 400 m dpl. Pada Gambar 5 (bawah) dapat dilihat hubungan NDVI terhadap suhu udara dan DEM, dimana nilai NDVI yang tinggi sekitar di atas 0.6 mempunyai suhu udara yang rendah sekitar kurang dari 30 derajat Celcius dan ketinggiannya di atas 400 m dpl. NDVI rendah sekitar di bawah 0.3 umumnya berada pada suhu di atas 30 derajat Celcius dengan ketinggian kurang dari 400 m dpl.



Gambar 5. Plot 3-Dimensi antara Ta_NOAA, Ta_obs dan DEM (atas) dan NDVI, Ta_obs dan DEM (bawah). Suhu udara dalam satuan derajat Celcius, dan DEM dalam meter di atas permukaan laut (mdpl).

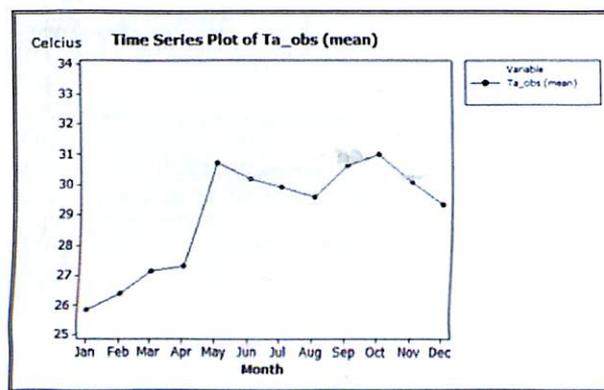
Uraian pengaruh NDVI dan DEM terhadap suhu udara di atas menjadi dasar analisis regresi dan korelasi selanjutnya yaitu dengan menambahkan parameter NDVI dan DEM sebagai peubah bebas X. Pada uji pertama dicoba menambahkan parameter NDVI saja sebagai X2, kemudian menggunakan NDVI sebagai X2 dan DEM sebagai X3 terhadap T_obs. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2. Pada penambahan X2 dalam analisis regresi dan korelasi peningkatan koefisien determinasinya (R²) tidak begitu berbeda dengan hanya menggunakan X1 saja, namun jika menambahkan parameter NDVI dan DEM sebagai X2 dan X3 maka dihasilkan peningkatan koefisien determinasi hingga menjadi 17.5%.

Peningkatan koefisien determinasi pada hasil analisis di atas masih relatif rendah, hal tersebut mungkin disebabkan karena tidak dilakukan pemisahan data suhu yang dianalisis berdasarkan periode musiman. Menurut Handoko (1994) suhu udara di negara tropis merupakan unsur cuaca yang umumnya bersifat stastis secara harian,

berbeda dengan curah hujan yang dinamis setiap harinya. Suhu udara dapat dilihat fluktuasinya berdasarkan analisis bulanan seperti yang terlihat pada hasil analisis rata-rata bulanan Ta_obs selama tahun 2014 (Gambar 6).

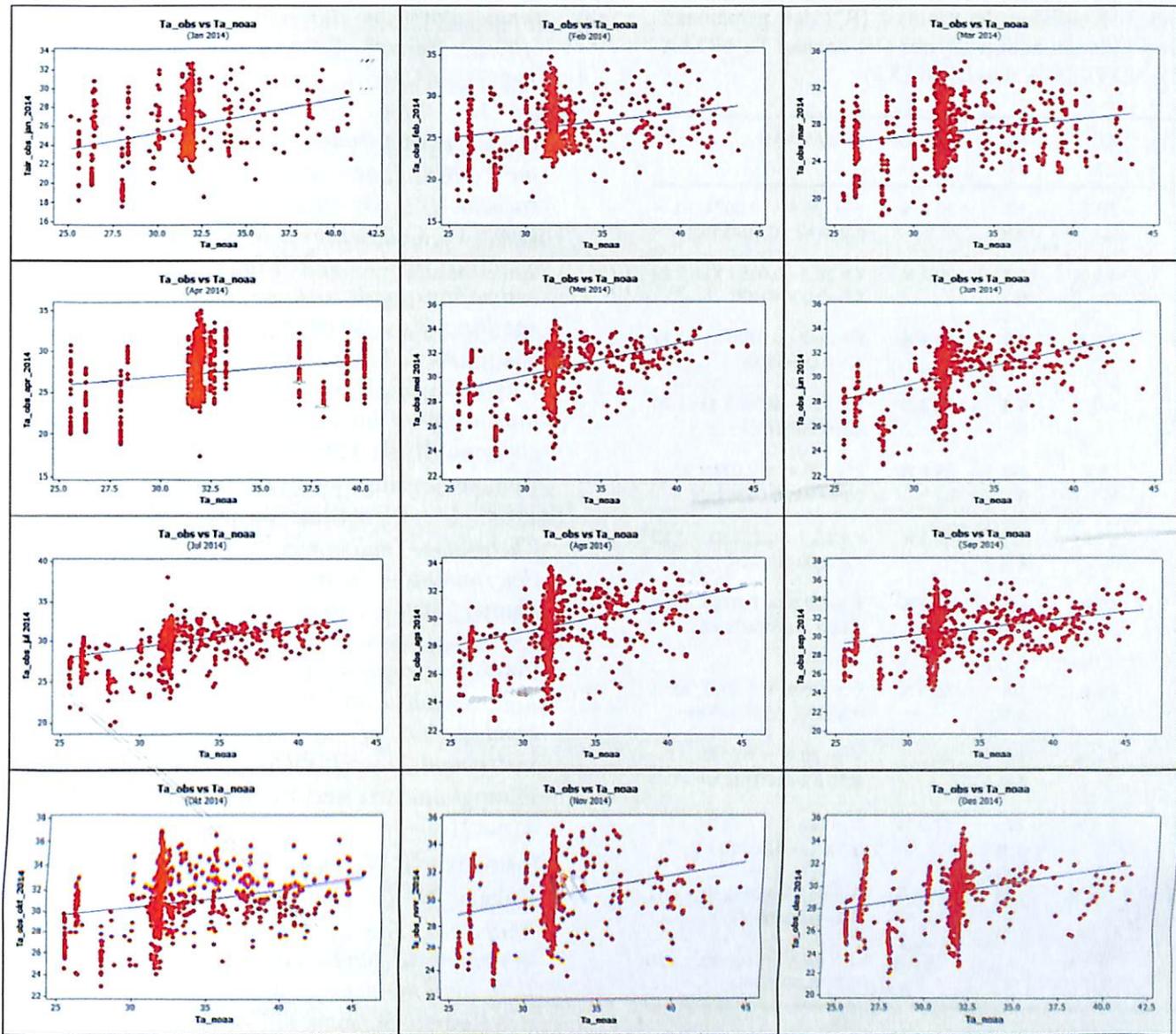
Tabel 2. Hasil analisis regresi dan korelasi Ta_NOAA, NDVI, DEM terhadap Ta_obs.

	Ta_NOAA (X1)	NDVI _{max} (X2)	DEM (X3)
Ta_obs (Y)	20.7 + 0.256 X1; R ² = 7.4%		
	21.3 + 0.252 X1 - 0.655 X2; R ² = 7.5%		
	26.4 + 0.0906 X1 + 0.314 X2 - 0.00346 X3; R ² = 17.5%		



Gambar 6. Rata-rata bulanan suhu udara observasi di wilayah kajian periode 2014.

Analisis selanjutnya dilakukan dengan memisahkan data secara bulanan dari Januari hingga Desember. Diagram scatter plot pada Gambar 7 antara Ta_NOAA dengan Ta_obs setiap bulannya pada tahun 2014 menunjukkan bahwa terdapat kelompok data yang memiliki hubungan non linear dimana pada satu nilai Ta_NOAA tertentu mempunyai variasi nilai Ta_obs yang besar, mulai dari nilai terendah hingga tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa data Ta_NOAA mempunyai tingkat kesalahan yang salah satu penyebabnya adalah pengaruh tingkat keawanan yang tinggi pada citra AVHRR harian. Pada kasus liputan awan tinggi, untuk memenuhi informasi harian suhu udara spasial dari AVHRR digunakan data satu hari sebelumnya. Sementara jika liputan awannya tidak terlalu tinggi maka dilakukan pengisian nilai suhu udara berdasarkan informasi ketinggian berdasarkan rumus pendugaan suhu udara.²⁰



Gambar 7. Scatter plot Ta_obs dengan Ta_NOAA per –bulan periode 2014.

Berdasarkan data yang telah dilakukan pemisahan secara bulanan, maka dilakukan analisis regresi dan korelasi dengan perlakuan 3 parameter, yaitu Ta_NOAA (X1), NDVI (X2), dan DEM (X3) yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Secara umum ditunjukkan bahwa peningkatan koefisien determinasi diperoleh dengan menggunakan 3 parameter yaitu suhu NOAA, NDVI, dan DEM. Korelasi yang paling tinggi diperoleh pada bulan Juli ($r = 0.64$; $R^2 = 41\%$), yang menunjukkan bahwa 41% dari data Ta_NOAA, NDVI, dan DEM merepresentasikan nilai suhu observasi di lapangan. Korelasi yang rendah salah satunya disebabkan oleh adanya gangguan awan sehingga menyebabkan estimasi suhu dari data satelit kurang akurat

KESIMPULAN

Estimasi suhu udara dari data NOAA-AVHRR di wilayah Sumatera, Kalimantan, dan Jawa

dengan menggunakan model suhu permukaan lahan yang dikembangkan oleh Khomarudin 2005 harus memperhatikan variasi seasonal bulanan, tingkat kehijauan vegetasi (NDVI), dan elevasi permukaan (DEM).

Korelasi yang tertinggi antara suhu udara observasi dengan suhu udara maksimum yang diestimasi NOAA dengan menambahkan faktor koreksi dari data NDVI dan DEM adalah sebesar 0.64 pada bulan Juli 2014. Analisis selanjutnya perlu dilakukan dengan memperhatikan sebaran data untuk mengeliminasi data-data yang mengandung kesalahan. Selain itu untuk menguji persamaan baru untuk estimasi suhu udara dari data NOAA yang dihasilkan pada studi ini, maka perlu dilakukan tes validasi dengan data terbaru (tahun 2015).

Tabel 3. Koefisien determinasi (R^2) dan persamaan regresi bulanan antara Ta_{obs} (Y) dengan Ta_{NOAA} (X1), NDVI (X2), dan DEM (X3)

	X1	X1, X2	X1,X2,X 3	PERSAMAAN
JAN	10.2 %	10. 3 %	26.6 %	$Y = 26.4 - 0.0074 X1 + 0.669 X2 - 0.00459 X3$
FEB	4.9 %	5.5 %	20.2 %	$Y = 26.3 - 0.0151 X1 + 2.19 X2 - 0.00440 X3$
MAR	3.5 %	4.0 %	16.1 %	$Y = 26.8 - 0.0109 X1 + 2.17 X2 - 0.00398 X3$
APR	4.0 %	4.4 %	16.2 %	$Y = 31.4 - 0.0804 X1 - 1.20 X2 - 0.00417 X3$
MEI	13.9 %	14. 0 %	34.8 %	$Y = 28.4 + 0.0713 X1 + 0.844 X2 - 0.00361 X3$
JUN	17.6 %	17. 8 %	39.1 %	$Y = 25.7 + 0.132 X1 + 1.19 X2 - 0.00355 X3$
JUL	15.9 %	16. 2 %	41.8 %	$Y = 27.5 + 0.0735 X1 + 1.05 X2 - 0.00408 X3$
AGS	10.1 %	10. 1 %	28.5 %	$Y = 26.4 + 0.0977 X1 + 0.884 X2 - 0.00329 X3$
SEP	9.1 %	17. 1 %	34.2 %	$Y = 30.6 + 0.0776 X1 - 3.10 X2 - 0.00308 X3$
OKT	6.4 %	27. 1 %	27.3 %	$Y = 32.6 + 0.0304 X1 - 3.58 X2 - 0.00300 X3$
NOV	6.2 %	9.4 %	34.1 %	$Y = 33.5 - 0.0392 X1 - 2.51 X2 - 0.00405 X3$
DES	6.5 %	8.5 %	26.6 %	$Y = 34.1 - 0.106 X1 - 1.30 X2 - 0.00392 X3$

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim produksi informasi harian SPBK yang telah mendukung data suhu dari NOAA-18 yang diakuisisi dari stasiun bumi LAPAN Pare-pare.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Nieto, H., Sandholt, I., Aguada, I., Chuvieco, E., & Stisen, S. 2011. *Air temperature estimation with MSG-SEVIRI data: Calibration and validation of the TVX algorithm for the Iberian Peninsula*. Remote Sensing of Environment. 115, 107–116.
- ²Guslim. 2008. *Klimatologi*. Medan
- ³Tempfli, K., Norman, K., Gerrit, C.H, and Lucas, L.F.J. 2009. *Principles of Remote Sensing*. ITC Educational Textbook Series; 2. Fourth edition. by ITC, Enschede, The Netherlands.
- ⁴Vancutsem, C., Ceccato, P., Dinku, T., & Connor, S.J. 2010. *Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air*

temperature in different ecosystems over Africa. Remote Sensing of Environment. 114(2), 449-465

- ⁵Price J.C. 1984. *Land surface temperature measurements from split window channels of the NOAA 7 advance very high resolution radiometer*. J. Geophys. Res, 89, 7231-7237.
- ⁶Ulivieri, C., Castronuovo, M.M., Francioni, R., Cardillo. 1994. *A split window algorithm for estimating land surface temperature from satellites*. Adv. Space Res. 14, 59–65.
- ⁷Pinheiro, A. C. T., Privette, J. L., and Guillevic, P. 2006. *Modeling the observed angular anisotropy of land surface temperature in a savanna*. IEEE Transactions on Geosciences Remote Sensing. 44(4), 1036–1047.
- ⁸Sobrino, J. A., Caselles, V., and Coll, C. 1993. *Theoretical split window algorithms for determining the actual surface temperature*, Il Nuovo Cimento, 16, 3, 219–236
- ⁹Zaksek, K., and Schroedter-Homscheidt, M. 2009. *Parameterization of air temperature in high temporal and spatial resolution from a combination of the SEVIRI and MODIS instruments*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 64(4), 414-421.
- ¹⁰Mostovoy, G. V., King, R.L., Reddy, K.R., Kakani, V. G., and Filippova, M.G. 2006. *Statistical estimation of daily maximum and minimum air temperature from MODIS LST data over the state of Mississippi*. GIScience and Remote Sensing, 43(1), 78-110.
- ¹¹Stathopoulou, M., Cartalis, C., Chrysoulakis, N. 2006. *Using midday surface temperature to estimate cooling degree-days from NOAA-AVHRR thermal infrared data: an application for Athens, Greece*. Sol. Energy 80 (4), 414-422
- ¹²Yan, H., Zhang, J.H., Hou, Y.Y., He, Y.B. 2009. *Estimation of air temperature from MODIS data in east China*. Int. J. Remote Sens. 30 (23), 6261-6275
- ¹³Han, K.S., Alain A. V., and François, A. 2003. *High-Resolution Forest Fire Weather Index Computations Using Satellite Remote Sensing*. Can. J. For. Res. 33: 1134–1143
- ¹⁴Khomarudin, M. R., 2005. *Pendugaan Evapotranspirasi Skala Regional Menggunakan Data Satelit Penginderaan Jauh*. Thesis. Sekolah Pasca Sarjana. IPB. Bogor
- ¹⁵Wenbin Zhu., Lu Aifeng., Jia Shaofeng. 2013. *Estimation of Daily Maximum and Minimum Air Temperature Using MODIS Land Surface*

- Temperature Products*. Remote Sensing of Environment 130(2013): 62-73.
- ¹⁶ Meteotest. 2010. *Meteonorm handbook*, Part III: Teory part 2. <http://www.meteonorm.com/media/pdf/mn6software.pdf>, diakses pada 10 Maret 2015.
- ¹⁷ Khomarudin, M.R. 2005. *Estimasi Unsur-Unsur Cuaca Untuk Mendukung Sistem Peringkat Bahaya Kebakaran Hutan/Lahan Dengan Data MODIS, PIT MAPIN XIV*.
- ¹⁸ Tucker, C. J. 1979. *Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation*. Remote Sensing Environ.8:127-150.
- ¹⁹ Valor, E., and Casselles, V., 1995, *Mapping of land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas*. Remote Sensing of Environment, 57, 167-184.
- ²⁰ Sitaniapessy, P.M., 1984. *Klasifikasi dan Iklim di Indonesia*. Jurusan Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB. Bogor