

PERBANDINGAN METODE ESTIMASI SUHU VERTIKAL ATMOSFER BERBASIS DATA MODIS

METHOD COMPARISON OF ATMOSPHERIC VERTICAL TEMPERATURE BASED ON MODIS DATA

Risyanto, Sinta Berliana Sipayung, Edy Maryadi
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Jl Dr. Djundjunaan No. 133 Bandung 40173
Pos-el: risyanto@lapan.go.id

ABSTRACT

MODIS sensor has a wavelength that ranges from visible to infrared consisting of 36 spectral channels. Some of these channels are working on the same channel with the NOAA TIROS Operational Vertical sensors Sounders (TOVS), allowing MODIS to detect vertical atmospheric parameters such as temperature and humidity. Algorithm vertical temperature decrease from MODIS data has been developed and set out in MOD07/MYD07. Estimates of the temperature profile of MOD07/MYD07 basically have enough valid results when compared with radiosonde measurements. This study aimed to evaluate the atmospheric vertical temperature parameters derived from algorithms MOD07/MYD07, and make comparisons between other estimation methods, namely artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions (MLR). The results showed that ANN and MLR methods have compatibility with radiosonde data better than the MOD07/MYD07 algorithms. Value errors (MBE, MAE and RMSE) produced by both methods are smaller than that resulting from the MOD07/MYD07 algorithm.

Keywords: MODIS, Temperature Vertical Atmospheric, MOD07/MYD07, ANN, Multi Linear Regression

ABSTRAK

Sensor MODIS memiliki kisaran panjang gelombang *visible* sampai dengan infra merah yang terdiri dari 36 kanal spektral. Beberapa kanal tersebut bekerja pada kanal yang sama dengan sensor NOAA *TIROS Operational Vertical Sounders* (TOVS), sehingga memungkinkan MODIS untuk mendeteksi parameter atmosfer vertikal seperti suhu dan kelembapan udara. Algoritma penurunan suhu vertikal dari data MODIS telah dikembangkan dan tertuang dalam MOD07/MYD07. Estimasi profil suhu dari MOD07/MYD07 ini pada dasarnya telah memberikan hasil yang cukup valid bila dibandingkan dengan pengukuran radiosonde. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi parameter suhu vertikal atmosfer yang diturunkan dari algoritma MOD07/MYD07, serta melakukan perbandingan antar metode estimasi lainnya, yaitu *artificial neural network* (ANN) dan *multi linier regression* (MLR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ANN dan MLR memiliki kesesuaian dengan data radiosonde yang lebih baik dibandingkan algoritma MOD07/MYD07. Nilai *error* (MBE, MAE dan RMSE) yang dihasilkan kedua metode tersebut lebih kecil daripada yang dihasilkan dari algoritma MOD07/MYD07.

Kata kunci : MODIS, Suhu Vertikal Atmosfer, MOD07/MYD07, ANN, Regresi Multi Linier

PENDAHULUAN

Penginderaan jauh atmosfer dari citra satelit pada masa sekarang ini telah dilengkapi dengan instrumen yang memiliki sensor mutakhir dengan kemampuan menjangkau kisaran panjang gelombang yang baru dan lebih lebar, serta mampu mengukur dengan resolusi frekuensi yang lebih baik dan lebih sedikit *noise*.¹ Salah satunya adalah sensor MODIS yang memiliki kisaran panjang gelombang *visible* sampai dengan infra merah yang terdiri dari 36 kanal spektral. Beberapa kanal tersebut bekerja pada kanal yang sama dengan sensor NOAA *TIROS Operational Vertical Sounders* (TOVS) sehingga

memungkinkan MODIS untuk mendeteksi parameter atmosfer vertikal seperti suhu dan kelembapan udara.²

Algoritma penurunan suhu vertikal dari data MODIS telah dikembangkan dan tertuang dalam ATBD (*Algorithm Teoritical Basis Document*) MOD07/MYD07. Berdasarkan ATBD ini, algoritma MODIS diadaptasi dari algoritma *High Resolution Infrared Radiation Sounder* (HIRS) dan *Geostationery Operational Environmental Satellite* (GOES), dengan penyesuaian untuk mengakomodir tidak adanya kanal spektral untuk sounding lapisan stratosfer, dan untuk meningkatkan resolusi spasial (1 km MODIS dari

17 km HIRS). Sehingga, dengan pendekatan tertentu, dari pengukuran radian infra merah MODIS dapat pula dimanfaatkan untuk menghasilkan data profil suhu dan kelembapan, total kolom *precipitable water vapor*, ozon dan stabilitas atmosfer.³

Validasi data MOD07/MYD07 untuk wilayah Indonesia telah dilakukan, salah satunya oleh Risyanto *et al*,⁴ yang mendapatkan bahwa data suhu vertikal yang diberikan MODIS memiliki kesesuaian nilai dan pola yang cukup baik dengan data radiosonde. Akan tetapi, masih terdapat perbedaan terutama pada lapisan dekat permukaan dan ketinggian di sekitar tropopause. Sipayung *et al*⁵ juga telah melakukan estimasi suhu vertikal atmosfer menggunakan data MODIS dengan metode statistik *artificial neural network* (ANN). Penurunan suhu vertikal menggunakan metode ANN juga menghasilkan nilai dan pola yang sesuai dengan hasil pengamatan radiosonde.

Untuk mendapatkan Gambaran seberapa baik hasil estimasi dari metode-metode tersebut, perlu dilakukan perbandingan antar metode dengan data pengamatan radiosonde. Metode yang terbaik dalam hal ini adalah yang estimasi datanya, baik nilai maupun pola, paling mendekati atau sesuai dengan data pengamatan. Penelitian ini akan melakukan perbandingan tiga metode estimasi profil suhu vertikal atmosfer data MODIS, yaitu algoritma MOD07/MYD07, metode ANN, serta metode *multi linier regression* (MLR). Metode MLR dilakukan dengan cara mencari persamaan regresi linier antara data suhu radiosonde dengan nilai spektral radian pada kanal-kanal tertentu yang berkaitan dengan suhu atmosfer.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi parameter suhu vertikal atmosfer yang diturunkan dari algoritma MOD07/MYD07, serta melakukan perbandingan antar metode estimasi lainnya, yaitu *artificial neural network* (ANN) dan *multi linier regression* (MLR).

METODOLOGI

Penelitian ini akan membandingkan 3 metode estimasi suhu vertikal atmosfer: (1) algoritma MOD07/MYD07, (2) metode *artificial neural network* (ANN), serta (3) metode *multi linier regression* (MLR). Data dari algoritma MOD07/MYD07 merupakan data level dua hasil olahan *software International MODIS/AIRS Processing Package* (IMAPP). Data profil ini dihasilkan pada 20 level ketinggian, yaitu 5, 10, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500,

620, 700, 780, 850, 920, 950, 1000 mb dengan resolusi spasial 5 km dan resolusi temporal 2 – 4 kali sehari.⁶ Untuk penurunan suhu dengan metode ANN dan MLR, data yang digunakan adalah data level 1B (spektral radian kanal 33, 34, 35 dan 36) keluaran program RTSTPS dan IMAPP, dengan resolusi 1 km.

Data radiosonde diperoleh dari situs *University of Wyoming* (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>). Lokasi yang dijadikan fokus penelitian adalah kota Jakarta, Surabaya, Manado, Makasar, dan Padang dengan periode data bulan Maret 2013 – Mei 2014.

Untuk melihat tingkat perbedaan data MODIS dari ketiga metode dengan data observasi radiosonde, digunakan parameter MBE (*mean bias error*), MAE (*mean absolute error*) dan RMSE (*root mean-square error*). MAE dan RMSE telah digunakan sebagai ukuran statistika standar dalam menguji performa model dalam studi meteorologi, kualitas udara dan penelitian klimatologi.⁷ Pada dasarnya, MAE dan RMSE sama-sama menunjukkan nilai perbedaan sampel data yang diprediksi dengan data observasi. Semakin besar nilai MAE dan RMSE maka perbedaan nilai antara data yang dihasilkan MODIS dengan data radiosonde juga semakin besar. Sedangkan MBE, berguna untuk memperoleh informasi apakah hasil prediksi rata-rata lebih besar atau lebih kecil (*over-* atau *under-estimated*) dari data observasi. MBE, MAE dan RMSE dihitung berdasarkan formula sebagai berikut :⁸

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t) \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |(\hat{y}_t - y_t)| \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}} \quad (3)$$

dengan \hat{y}_t dan y_t merupakan data prediksi dan data observasi ke $-t$, dengan n adalah jumlah data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan MLR dibangun atas dasar adanya hubungan antara nilai spektral radian pada kanal-kanal tertentu dengan nilai suhu profil atmosfer. Dalam penelitian ini, nilai suhu atmosfer diturunkan berdasarkan persamaan regresi antara suhu radiosonde dengan nilai spektral radian pada kanal 33, 34, 35 dan 36. Pemilihan kanal tersebut didasarkan atas keterkaitan panjang gelombang pada kanal 33–36 dengan parameter suhu atmosfer yang akan diturunkan.⁹ Untuk mendapatkan data profil,

persamaan MLR disusun untuk masing-masing ketinggian (level). Level yang digunakan untuk metode MLR dibuat sama dengan produk IMAPP, yaitu sebanyak 20 level.

Tabel 1 berikut menyajikan hasil persamaan MLR untuk mengestimasi nilai suhu atmosfer berdasarkan data spektral radian kanal 33 (x1), kanal 34 (x2), kanal 35 (x3) dan kanal 36 (x4). Konstanta persamaan pada masing-masing level ketinggian diturunkan dari seluruh sampel data di lima lokasi kajian (Jakarta, Manado, Makasar, Padang dan Surabaya) selama periode bulan Maret 2013 – Mei 2014. Untuk mendapatkan jumlah data sampel yang banyak, dalam perhitungan tidak dilakukan pemisahan untuk masing-masing kota. Sehingga persamaan ini hanya sesuai untuk lima kota yang dijadikan fokus penelitian.

Contoh hasil perbandingan metode estimasi suhu profil suhu atmosfer berdasarkan MOD07/MYD07, ANN dan MLR dengan data radiosonde di lima kota ditampilkan pada Gambar 1. Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa nilai profil suhu yang diturunkan dengan metode ANN dan MLR memiliki kesesuaian yang lebih baik dengan data radiosonde dibandingkan suhu dari algoritma MOD07/MYD07 khususnya di daerah Padang dan Makasar. Di daerah Jakarta dan Manado, ketiga metode mampu menghasilkan nilai dan pola yang cukup sesuai dengan pengamatan radiosonde. Hal yang berkebalikan terjadi di daerah Surabaya, dimana hanya metode MOD07/MYD07 yang nilainya sesuai dengan data radiosonde.

Secara umum, pola suhu vertikal yang ditunjukkan data MODIS baik menggunakan metode MOD07/MYD07, ANN maupun MLR, sesuai dengan pola yang berlaku standar. Pada lapisan atmosfer standar, suhu akan mengalami penurunan seiring dengan makin bertambahnya ketinggian sampai dengan lapisan *tropopause*. Lapisan *tropopause* yang merupakan pembatas antara troposfer dengan stratosfer, rata-rata terletak pada ketinggian tekanan 100 mb (sekitar 16 km) untuk wilayah tropis.¹⁰

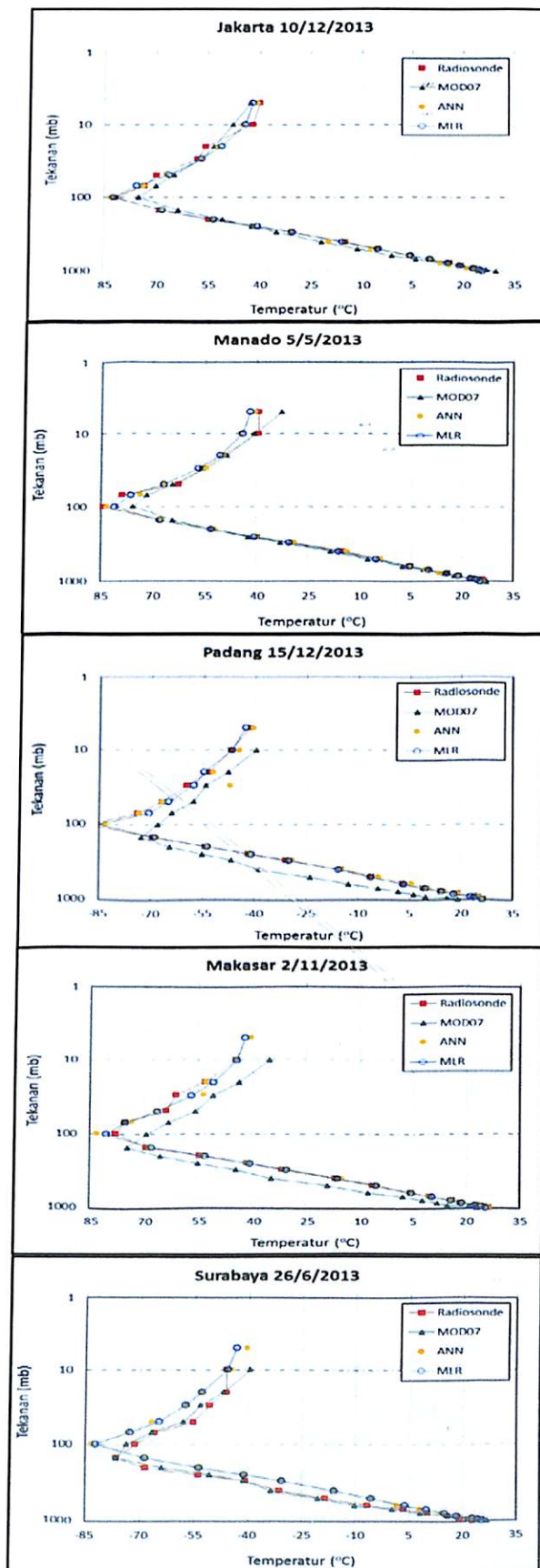
Pada Gambar 1, ketebalan lapisan *tropopause* tidak dapat teridentifikasi karena data MODIS hanya mampu menurunkan 20 level ketinggian, sehingga data vertikal temperatur yang dihasilkan tidak dapat menggambarkan profil atmosfer secara lebih detail.

Tabel 1. Persamaan Estimasi Suhu Vertikal Atmosfer dari data spektral radian kanal 33 (x1), kanal 34 (x2), kanal 35 (x3) dan kanal 36 (x4) dengan Metode Regresi Multi Linier

Level	Persamaan Estimasi Suhu
1000 mb	$24.87 - 0.736 x_1 + 0.83 x_4 - 1.89 x_2 + 2.70 x_3$
950 mb	$19.07 - 0.446 x_1 + 0.89 x_4 + 1.14 x_2 + 0.20 x_3$
920 mb	$18.59 - 0.329 x_1 + 1.41 x_4 + 0.186 x_2 + 0.37 x_3$
850 mb	$15.99 - 0.633 x_1 - 0.49 x_4 - 0.39 x_2 + 2.49 x_3$
780 mb	$13.55 - 0.737 x_1 - 1.38 x_4 - 1.056 x_2 + 3.83 x_3$
700 mb	$9.70 - 0.490 x_1 - 0.87 x_4 - 0.23 x_2 + 1.73 x_3$
620 mb	$0.48 - 0.689 x_1 - 0.70 x_4 - 0.962 x_2 + 3.75 x_3$
500 mb	$-11.31 - 1.012 x_1 + 0.02 x_4 + 0.26 x_2 + 2.90 x_3$
400 mb	$-24.07 - 1.62 x_1 + 2.20 x_4 + 0.17 x_2 + 2.79 x_3$
300 mb	$-34.57 - 0.988 x_1 + 1.04 x_4 - 1.254 x_2 + 3.26 x_3$
250 mb	$-44.01 - 1.181 x_1 + 0.02 x_4 - 0.70 x_2 + 3.41 x_3$
200 mb	$-56.09 - 1.063 x_1 - 0.56 x_4 - 0.470 x_2 + 3.31 x_3$
150 mb	$-68.86 - 0.646 x_1 - 1.34 x_4 - 0.14 x_2 + 2.32 x_3$
100 mb	$-64.63 + 3.38 x_1 - 9.15 x_4 + 2.27 x_2 - 5.29 x_3$
70 mb	$-56.97 + 1.51 x_1 + 3.20 x_4 + 8.22 x_2 - 19.45 x_3$
50 mb	$-59.77 + 2.86 x_1 + 1.70 x_4 + 6.06 x_2 - 14.13 x_3$
30 mb	$-57.77 - 1.69 x_1 - 1.02 x_4 + 3.00 x_2 - 0.09 x_3$
20 mb	$-57.18 - 2.432 x_1 - 4.32 x_4 + 1.10 x_2 + 7.21 x_3$
10 mb	$-53.38 - 1.74 x_1 - 1.48 x_4 - 1.72 x_2 + 8.17 x_3$
5 mb	$-49.4 - 2.92 x_1 - 0.40 x_4 - 5.43 x_2 + 12.72 x_3$

Lapisan troposfer terbawah (1-2 km dari permukaan) merupakan lapisan yang memiliki karakteristik berbeda dengan lapisan troposfer lainnya, disebut sebagai *atmospheric boundary layer*, dimana suhu pada lapisan ini sangat dipengaruhi oleh permukaan.¹¹ Karakteristik lapisan ini juga tidak terlihat pada Gambar 1, disebabkan oleh keterbatasan level ketinggian yang dimiliki MODIS, sehingga nilai perubahan suhu udara vertikal di lapisan bawah troposfer terlihat *smooth*.

Pola yang dihasilkan dari ketiga metode cenderung hampir sama mulai dari permukaan sampai lapisan sekitar 100 mb, sedangkan di atas lapisan tersebut, nilai yang dihasilkan ketiga metode mulai bervariasi. Perlu diingat bahwa grafik tersebut hanya salah satu contoh kasus perbandingan antar ketiga metode. Kesimpulan yang valid bisa ditentukan jika data yang diolah lebih banyak dan mampu mewakili variasi suhu di lokasi tersebut. Oleh karena itu, berikut ditampilkan hasil perhitungan MBE, MAE dan RMSE yang merupakan rata-rata dari beberapa sampel data yang digunakan (Gambar 2 sampai Gambar 4).



Gambar 1. Perbandingan profil temperatur vertikal antara estimasi MOD07/MYD07, metode ANN dan metode MLR dengan data radiosonde di lima daerah di Indonesia

Berdasarkan hasil perhitungan nilai MBE antar ketiga metode, didapatkan bahwa rata-rata data temperatur dari MOD07/MYD07 lebih kecil

dibandingkan data radiosonde, dengan besaran nilai MBE = -1,74. Sedangkan data temperatur yang dihasilkan metode ANN dan MLR rata-rata lebih besar dari nilai observasi radiosonde dengan besaran +0,91 dan +0,65. Metode MLR menghasilkan nilai MBE yang terkecil yang mengindikasikan bahwa metode ini tampak lebih baik dibandingkan kedua metode lainnya.

Parameter MAE dan RMSE secara reguler telah banyak digunakan dalam kajian evaluasi model. Meskipun demikian, Willmott dan Matsuura⁸ lebih merekomendasikan penggunaan MAE dibandingkan RMSE, karena RMSE dianggap sering tidak merepresentasikan nilai rata-rata kesalahan (*error*) yang sebenarnya. Lain halnya dengan Chai dan Drexler⁷ yang menemukan bahwa RMSE justru lebih baik digunakan daripada MAE, terutama pada data yang memiliki nilai *error* dengan distribusi normal (Gaussian). Selain itu Chai dan Drexler⁷ juga mengungkapkan bahwa kombinasi dari berbagai parameter, tidak terbatas pada RMSE dan MAE saja, seringkali diperlukan untuk menilai dan menguji performa model.

Berdasarkan perbandingan *scatter plot* dan nilai MAE-RMSE dari ketiga metode, diperoleh bahwa metode MLR memiliki nilai *error* terkecil dimana nilai MAE diperoleh sebesar 2,46 dan RMSE sebesar 4,18. Nilai MAE menunjukkan bahwa rata-rata kesalahan (*error*) dari data temperatur yang diturunkan metode MLR dibandingkan dengan data radiosonde adalah sebesar 2,46°C. Sedangkan nilai RMSE menunjukkan bahwa standar deviasi dari kesalahan (*error*) dari data temperatur yang diturunkan metode MLR adalah sebesar 4,18°C.

Hasil ini mengindikasikan bahwa metode penurunan suhu vertikal atmosfer menggunakan MLR dianggap menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan algoritma MOD07/MYD07 dan metode ANN. Hal ini bisa dipahami mengingat persamaan MLR dibangun berdasarkan nilai-nilai yang terdapat pada data radiosonde yang juga digunakan dalam perbandingan. Demikian halnya dengan metode ANN, keluaran dari metode ini juga bergantung pada persamaan yang ditentukan dari nilai data pengamatan radiosonde. Metode ANN ini merupakan salah satu metode cepat untuk mengestimasi suhu vertikal dari data satelit dengan nilai akurasi yang cukup baik.¹

Persamaan MLR dan ANN dalam penelitian ini menggunakan sampel data yang berasal dari lima kota kajian. Kota-kota lain di Indonesia yang memiliki karakteristik iklim yang berbeda dengan lima kota tersebut perlu melakukan

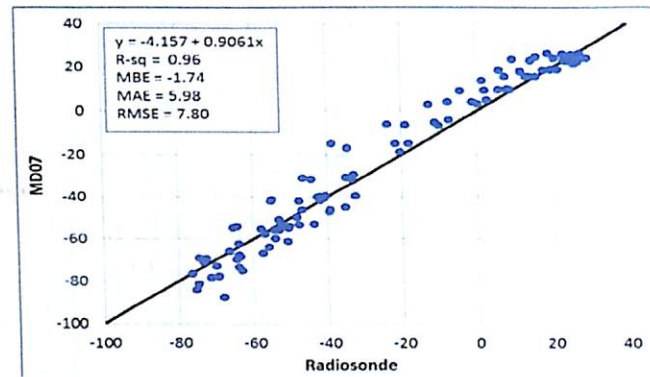
penyesuaian atau modifikasi pada konstanta persamaan, sehingga nilai suhu yang diturunkan dari data MODIS akan lebih akurat. Meskipun demikian, untuk mendapatkan nilai prakiraan, persamaan tersebut bisa saja digunakan. Perlu diingat pula bahwa persamaan di atas juga tidak spesifik terhadap musim. Namun, sehubungan dengan keterbatasan data yang hanya tersedia pada kondisi bebas awan, sebagian besar sampel yang digunakan merupakan data pada musim kering. Oleh karena itu, persamaan MLR dan ANN pada penelitian ini mungkin menghasilkan nilai yang kurang sesuai jika digunakan untuk menghasilkan data di musim hujan.

Liljegren *et al.*¹² menemukan bahwa estimasi nilai suhu dan kelembapan vertikal dapat ditingkatkan dengan melakukan penyesuaian nilai suhu kecerahan pada saat tidak tepat dengan arah datang matahari (*off-zenith angle*). Oleh karena itu, keterbatasan lain yang mungkin juga menyebabkan ketidaksesuaian nilai suhu vertikal metode MLR adalah ketika suhu kecerahan (*brighness temperature*) dari kanal spektral yang dipilih tidak mempertimbangkan sudut datang matahari. Hal ini terjadi karena nilai suhu yang diestimasi sangat bergantung dengan nilai suhu kecerahan kanal spektral yang dipilih.

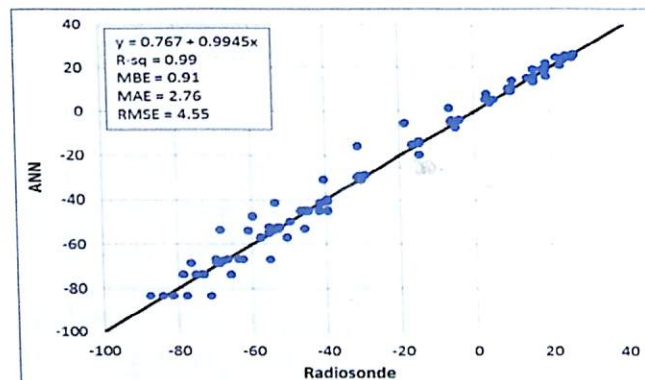
Nilai kesalahan yang dihasilkan algoritma MOD07/MYD07 rata-rata lebih besar dibandingkan metode ANN dan MLR, namun algoritma ini merupakan metode standar yang telah ditetapkan secara internasional, sehingga penggunaan data keluaran algoritma ini untuk analisis lebih lanjut masih dapat diterima. Algoritma MOD07/MYD07 pada dasarnya menurunkan profil atmosfer dengan metode regresi statistik, namun ada juga versi dengan penambahan opsi untuk parameter fisik non-linier. Penurunan dilakukan hanya pada kondisi cerah (tidak tertutup awan) dengan resolusi 5 km baik di atas daratan maupun lautan pada siang dan malam hari.¹³ Penurunan data profil atmosfer dengan algoritma yang hanya menggunakan regresi statistik telah dilakukan secara operasional melalui sistem pengolahan *Goddard Distributed Active Archive Center (GDAAC)*.

Pemanfaatan data satelit untuk menurunkan parameter profil atmosfer pada dasarnya memiliki banyak kelebihan. Salah satunya dalam hal spasial, suhu vertikal MODIS dapat mencakup wilayah-wilayah yang tidak melakukan peluncuran radiosonde secara operasional. Meskipun demikian algoritma dan metode yang digunakan untuk menurunkan suhu vertikal MODIS mensyaratkan kondisi yang bebas awan, baik MOD07, metode ANN maupun

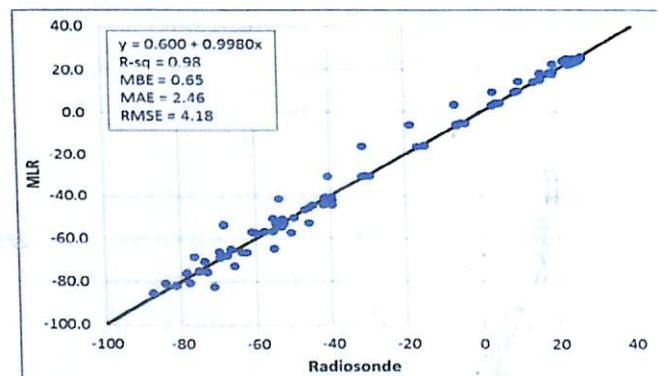
MLR. Ini menjadi kendala tersendiri mengingat perawanan di wilayah Indonesia yang cukup tinggi sehingga ketersediaan data yang dihasilkan menjadi lebih terbatas.



Gambar 2. Scatter Plot dan nilai error antara suhu vertikal yang dihasilkan MOD07/MYD07 dan data radiosonde



Gambar 3. Scatter Plot dan nilai error antara suhu vertikal yang dihasilkan metode ANN dan data radiosonde



Gambar 4. Scatter Plot dan nilai error suhu vertikal yang dihasilkan metode MLR dan data radiosonde

KESIMPULAN

Secara umum, data suhu vertikal yang diberikan MODIS memiliki kesesuaian nilai dan pola yang cukup baik dengan data radiosonde. Perbedaan terbesar terdapat pada lapisan dekat permukaan

dan ketinggian di sekitar tropopause. Persamaan multi *linier regression* pada penelitian ini dihasilkan untuk dua puluh level ketinggian yang sama dengan data MOD07/MYD07. Pada dasarnya, persamaan MLR bisa saja diturunkan untuk berbagai level ketinggian bergantung pada level ketinggian data radiosonde. Namun untuk dapat dibandingkan, level pada metode MLR, ANN dibuat sama dengan MOD07/MYD07.

Nilai MAE berdasarkan perbandingan di lima lokasi kajian, yang dihasilkan metode MOD07/MYD07, metode ANN dan MLR adalah berturut-turut 5,98; 2,76; dan 2,46, sedangkan nilai RMSE diperoleh sebesar 7,80; 4,55; dan 4,18. Nilai ini mengindikasikan bahwa metode penurunan suhu vertikal atmosfer menggunakan MLR dianggap menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan algoritma MOD07/MYD07 dan metode ANN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Laras Tursilowati, M.Si. selaku Kepala Bidang Teknologi Atmosfer, dan Ir. Halimurrahman, M.T. selaku Kepala Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN, atas masukan dan dukungannya terhadap penelitian ini. Juga kepada University of Wyoming dan Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh – LAPAN atas bantuan ketersediaan data suhu vertikal radiosonde dan MODIS.

Daftar Pustaka

- ¹Akbari, V., J. Amini, M. R. Saradjian, M. Motagh, 2008. *Estimation Of Atmospheric Temperature And Humidity Profiles From Modis And Radiosond Data Using Artificial Neural Network*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing.
- ²Seeman, S. W., J. Li, W. P. Menzel, and L. E. Gumley, 2003. *Operational Retrieval of Atmospheric Temperature, Moisture, and Ozone From MODIS Infrared Radiances*. Journal of applied meteorology, 42: 1072-1091.
- ³Suzanne W. Seemann, Eva E. Borbas, Jun Li, W. Paul Menze, Liam E. Gumley, 2006. *MODIS Atmospheric Profile Retrieval Algorithm Theoretical Basis Document*. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies. University of Wisconsin-Madison. 1225 W. Dayton St. Madison, WI 53706. Version 6.
- ⁴Risyanto, S. B. Sipayung, dan E. Maryadi, 2014. *Analisis Profil Suhu Vertikal Atmosfer dari Data MODIS Terra/Aqua di Wilayah Indonesia*. Prosiding Seminar Sains Atmosfer 2014, LAPAN Bandung.
- ⁵Sipayung, S. B., Risyanto, dan E. Maryadi, 2014. *Aplikasi Artificial Neural Network (ANN) untuk Estimasi Profil Vertikal Temperatur dan Kelembapan dari Data MODIS*. Simposium Fisika Nasional (SFN XXVII), Bali.
- ⁶NASA, 2013. *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*. (<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>, diakses pada tanggal 3 September 2013)
- ⁷Chai, T., and Draxler, R.R., 2014. *Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature*. Geosci. Model Dev., 7, 1247–1250
- ⁸Willmott, C. and Matsuura, 2005. *Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in assessing average model performance*, Clim. Res., 30, 79–82.
- ⁹Lambrigsen, B. H., Calheiros, R. V., 2003. *The Humidity Sounder for Brazil – An International Partnership*. IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing, n. 41, p. 352-361.
- ¹⁰Hoinka, K. P, 1999. *Temperature, Humidity, and Wind at the Global Tropopause*. Monthly Weather Review (American Meteorological Society) 127: 2248 – 2265.
- ¹¹Stephens, Graema L., 1994. *Remote Sensing of the Lower Atmosphere*. New York: Oxford University Press, Inc.
- ¹²Liljegren, J. C., Maria, P. C., Andrew, P., 2006. *Retrieval of Atmospheric Temperature and Water Vapor Profiles in the Arctic*. 9th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications, San Juan, puerto Rico.
- ¹³Huang, H. L. et al., 2004. *International MODIS and AIRS Processing Package (IMAPP): A direct broadcast software package for the NASA Earth Observing System*. Bull. Of the American Met. Soc., 85, No.2, 159-161.