

ANALISIS TEMPERATUR DAN UAP AIR BERBASIS SATELIT TERRA/AQUA (MODIS, LEVEL-2) (ANALYSIS OF TEMPERATURE AND WATER VAPOR BASED ON THE TERRA/AQUA SATELLITE (MODIS, LEVEL-2))

Sinta Berliana Sipayung, Krismianto, dan Risyanto

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173 Indonesia
e-mail: s_berlianasipayung@yahoo.com

Diterima 3 Mei 2016; Direvisi 10 Mei 2016; Disetujui 16 Juni 2016

ABSTRACT

Terra and Aqua satellites that consist of multiple sensors including MODIS instruments, which is operated to detect the phenomena that exist on land, sea and atmosphere. Not a lot of data extracted especially for Indonesia region the associated with atmospheric data, because the product is still in the raw data (level-0). For data extraction of level-0 to level-2 needed software IMAPP (International MODIS/airs Processing Package) so displays some data atmospheric parameters including MOD 04 - Aerosol, MOD 05 - Total precipitable Water (Water Vapor), MOD 06 - Cloud, MOD 07 - Atmospheric Profiles, MOD 08 - gridded Atmospheric and MOD 35 in HDF4 format (Hierarchical Data Format-4) swath. This paper discussed only MOD07/MYD07 atmospheric profiles level-2 related parameters such as the temperature of the atmosphere at an altitude of 780 hPa and water vapor at a height of 700 hPa. This study aimed to analyze the phenomena in the atmosphere, based on extraction method Atmospheric Profiles in the resolution 1km, that consists of temperature and moisture level-2, in the format hdf4 daily swath into data daily and monthly grid in .dat format, in the period of December 2014, January, July, and August 2015, especially in the area of Indonesia. The comparison between the results of the extraction swath and grid data from Terra/Aqua MODIS, that parameter atmospheric for the temperature has R-square an average of 0.72 and water vapor 0.74, while the RMSE temperature and water vapor are 0.88 and 0.29.

Keywords: *Temperature, Water vapor, MODIS, and MOD07/MYD07*

ABSTRAK

Satelit Terra dan Aqua yang terdiri dari beberapa sensor diantaranya instrumen MODIS, yang dioperasikan untuk mendeteksi fenomena yang ada di darat, laut, dan atmosfer. Belum banyak data yang diekstrak khususnya untuk wilayah Indonesia yang terkait dengan data atmosfer, karena produk MODIS masih berupa data mentah (level-0). Untuk ekstraksi data dari level-0 menjadi level-2 dibutuhkan software *International MODIS/AIRS Processing Package* (IMAPP) sehingga menampilkan beberapa data parameter atmosfer diantaranya MOD 04 - *Aerosol*, MOD 05 - *Total Precipitable Water* (Water Vapor), MOD 06 - *Cloud*, MOD 07 - *Atmospheric Profiles*, MOD 08 - *Gridded Atmospheric* dan MOD 35 *swath* dalam format *Hierarchical Data Format-4* (HDF4). Pada makalah ini yang dibahas hanya MOD07/MYD07 *atmospheric profiles* level-2 yang berkaitan dengan parameter atmosfer seperti temperatur pada ketinggian 780 hPa dan uap air pada ketinggian 700 hPa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil ekstraksi data *Atmospheric Profiles* dari format **HDF4** *swath* harian menjadi data *grided* harian, bulanan dalam format **.dat** serta aplikasinya pada periode bulan Desember 2014, Januari, Juli, dan Agustus 2015, khususnya wilayah Indonesia dalam resolusi 1km yang terdiri dari temperatur dan uap air level-2. Perbandingan antara hasil ekstraksi data MODIS *swath* dan data MODIS *grided* Terra/Aqua untuk parameter temperatur atmosfer mempunyai R-square rata-rata 0.72 dan uap air 0.74, sedangkan RMSE untuk temperatur dan uap air sebesar 0.88 dan 0.29.

Kata kunci: *Temperatur, Uap air, MODIS dan MOD07/MYD07*

1 PENDAHULUAN

Satelit Terra/Aqua yang diluncurkan 18 Desember 1999 (Terra) dan 4 Mei 2002 (Aqua) merupakan misi *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) terdiri dari beberapa instrumen seperti *MODerate-resolution Imaging Spectroradiomete* (MODIS) yang dapat mengobservasi fenomena-fenomena di darat, laut, dan atmosfer. Telah banyak algoritma yang dikembangkan *Space Science and Engineering Center* (SSEC) di *University of Wisconsin-Madison* untuk menurunkan profil vertikal atmosfer termasuk MOD07, seperti temperatur atmosfer, kelembapan, ozon, *precipitable water vapor*, dan beberapa indeks stabilitas atmosfer menggunakan panjang gelombang infra merah antara 4,465 dan 14,235 μm termasuk diantaranya band 25, 27 hingga 36 (Asrar and Dokken, 1993).

Satelit Terra/Aqua merupakan satelit meteorologi dengan orbit polar dengan resolusi mencapai 0.25 - 1km menghasilkan cakupan global setiap 1-2 kali dalam satu hari dengan pola sapuan $\pm 55^\circ$ pada ketinggian orbit 705 km dpl dan lebar sapuan 2330 km (NASA, 2013). Satelit Terra mengorbit Bumi dari Utara ke Selatan dan melintasi Equator di pagi hari, sebaliknya satelit Aqua bergerak dari Selatan ke Utara dan

melintasi equator di siang/sore hari. Di satelit ini terdapat sensor MODIS yang terdiri dari 36 band dan resolusi spasial dari 250 m (bands 1 – 2), 500 m (bands 3 - 7) dan 1000 m (bands 8 - 36). Produk data yang dihasilkan oleh IMAPP dari MODIS adalah data kalibrasi yang terdapat pada MOD 01 - *Level-1A Radiance Counts*, MOD 02, *Level-1B Calibrated Geolocated Radiances* dan MOD 03 - *Geolocation Data Set*. Sedangkan data atmosfernya adalah MOD 04 - *Aerosol*, MOD 05 - *Total Precipitable Water (Water Vapor)*, MOD 06 - *Cloud*, MOD 07 - *Atmospheric Profiles*, MOD 08 - *Gridded Atmospheric* dan MOD 35 - *Cloud Mask*, diperoleh dari LAPAN Pare-Pare dan Rumpin, hasil transfer melalui jaringan *Fiber Optic* (FO). Tabel 1-1 adalah spesifikasi dan alokasi spektral MODIS.

Tabel 1-1: Spesifikasi MODIS (NASA, 2013)

Orbit	705 km, 10:30, menuju selatan (Terra) atau 13:30 menuju Utara (Aqua), <i>sun-synchronous, near-polar, circular</i>
Scan rate	20.3 rpm, cross track
Lebar <i>swath</i>	2330 km, dengan 10 km (<i>along track at nadir</i>)
Teleskop	Diameter 17.78 cm <i>off-axis</i>
Ukuran	1.0 x 1.6 x 1.0 m

Berat	228.7 kg
Power	162.5 W
Laju transfer	10.6 Mbps (maksimal per hari); 6.1 Mbps (rata-rata per orbit) data
Kuantitas	12 bits, untuk 36 kanal spektral dengan panjang gelombang 0.4 μm sampai 14.4 μm
Resolusi	250 m (bands 1-2)
Spasial	500 m (bands 3-7) 1000 m (bands 8-36)
Desain umur	5 tahun

Dengan terbatasnya data satelit, maka diperlukan pengolahan/ekstraksi data MODIS untuk kebutuhan penelitian terkait tentang fenomena-fenomena di darat, laut, dan atmosfer maka dilakukan ekstraksi data *Atmospheric Profiles* (Temperatur dan uap air) dari format *HDF4 swath* harian menjadi data *gridded* harian hingga bulanan resolusi 1 km serta aplikasinya. Batasan data berupa resolusi temporal global namun pada kegiatan ini resolusi 1 km wilayah Indonesia dengan lintang maksimum 10 derajat, minimum 10 derajat dan bujur maksimum 139 derajat minimum 95 derajat. Hasil dari data MODIS *swath* dengan *grided* diverifikasi/validasi dalam peningkatan kualitas data MODIS *atmospheric profiles* yang nantinya akan disimpan di data base atmosfer Indonesia yang dikelola oleh Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA).

Makalah ini merupakan kelanjutan atau penyempurnaan dari makalah yang penulis lakukan di tahun 2014 dan 2015 (Sipayung, dkk, 2014 dan 2015) dengan tingkat kebaruan penggunaan data yang semula level-1 menjadi ke level-2. Selain itu, validasi yang dibandingkan dengan data curah hujan, baik saat musim basah dan kering (kemarau). Atas dasar itulah, maka tujuan utama dari makalah ini untuk menganalisis hasil ekstraksi data *Atmospheric Profiles* dari format **HDF4 swath** harian menjadi data *grided*

harian, bulanan dalam format **.dat** serta aplikasinya.

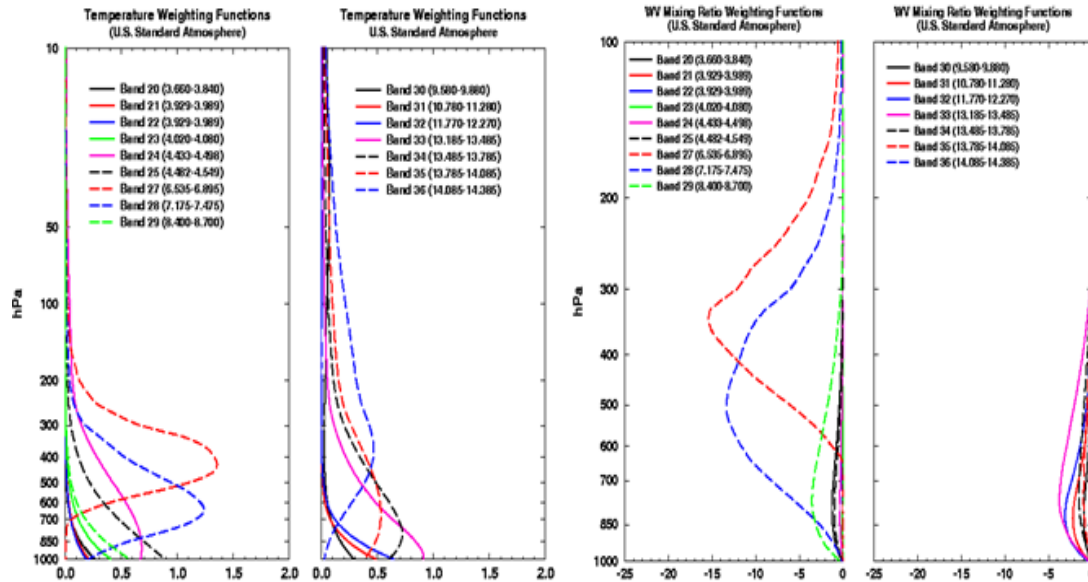
2 STUDI PUSTAKA

Temperatur dan uap air merupakan parameter iklim dalam bidang ilmu meteorologi yang sering diukur, karena kegunaannya dalam proses interaksi antara atmosfer, laut, dan daratan yang selalu berubah-ubah berdasarkan ruang dan waktu. Pemahaman yang berkaitan dengan profil temperatur vertikal daerah tropis atas dan bawah sangat sulit untuk dipahami, baik secara spasial maupun temporal. Sementara banyak aspek klimatologi dari tropopause yang cukup baik untuk dipahami (Randel dan Jensen, 2013). Secara alami temperatur dan uap air merupakan lapisan hangat dan sejuk, karena mendapat radiasi sinar matahari pada siang maupun malam. Lapisan teratas sampai terbawah terjadi pemanasan dan penguapan. Sebelum perkembangan teknologi satelit, sangat sulit untuk mengamati perubahan temperatur dan uap air suatu daerah yang luas secara berkelanjutan (*continue*). Dengan adanya satelit Terra/Aqua dan satelit lain dengan sensor infra merah, memungkinkan pengukuran profil vertikal atmosfer baik dari periode jam-jam-an, harian, maupun bulanan dapat diperoleh dalam data resolusi global (Michael *et. al.*, 2003).

Penelitian tentang ekstraksi data satelit Terra/Aqua telah banyak menguraikan algoritma tentang penurunan profil atmosfer dari sensor MODIS MOD07 (Seemann *et. al.*, 2002, 2003 dan Kim *et. al.*, 2004), seperti temperatur atmosfer dan kelembaban kemudian dibandingkan dengan data radiosonde diperoleh koefisien korelasi masing-masing 0.99 dan 0.89. Begitu juga dengan menggunakan uji-statistik dan hasilnya sangat signifikan untuk satu kali pengukuran di beberapa lokasi telah ditunjukkan (Majid and Reza, 2011) dan pada beberapa pengukuran untuk melihat profil di

setiap musim telah dilakukan *Free* (2011). Hal yang sama dilakukan (WU *et al.*, 2005) ternyata pada ketinggian 850 hPa kofisien korelasi sangat signifikan dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) yang sangat kecil. Dengan konsep yang sama menggunakan profil dari NCEP dan MOD07 menunjukkan hasil yang baik dengan akurasi sedikit lebih tinggi (Li *et al.*, 2000).

Pada Gambar 2-1, terdapat standar profil atmosfer berdasarkan masing-masing band, namun hanya untuk temperatur dan uap air pada 19 ketinggian mulai dari permukaan 1000 hingga 10 hPa. MODIS yang digunakan adalah MOD 07/MYD07 (*Atmosphere Profiles*), yang terdiri dari



Gambar 2-1: Sensifitas profil temperatur dan uap air yang di proses dari level satu (L-1). (Sumber, Seemann *et al.*, 2006)

19 level ketinggian: 10, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 620, 700, 780, 850, 920, 950, 1000 mb (Menzel *et al.*, 2002). Dengan menggunakan band-band infra merah sensifitas profil temperatur dan uap air untuk 19 level berdasarkan algoritma terdapat pada persamaan 2-1 (Seemann *et al.*, 2006).

$$R_{\nu} = \epsilon_{\nu s} B_{\nu s}(T_s) \tau_{\nu s}(p_s) - \int_{0}^{p_s} B_{\nu}(T(p)) d\tau_{\nu}(p) + r_{\nu s} \tau_{\nu}(p_s) \int_{0}^{p_s} B_{\nu}(T(p)) d\tau_{\nu}^*(p) + R_{\nu}^{sun} \tau_{\nu}^{1+sec\theta}(p_s) r_{\nu s}^{sun} \quad (2-1)$$

Keterangan:

- R = radiance,
- ν = wavenumber,
- s = surface,
- p = pressure,
- sun = solar,
- T = temperature,

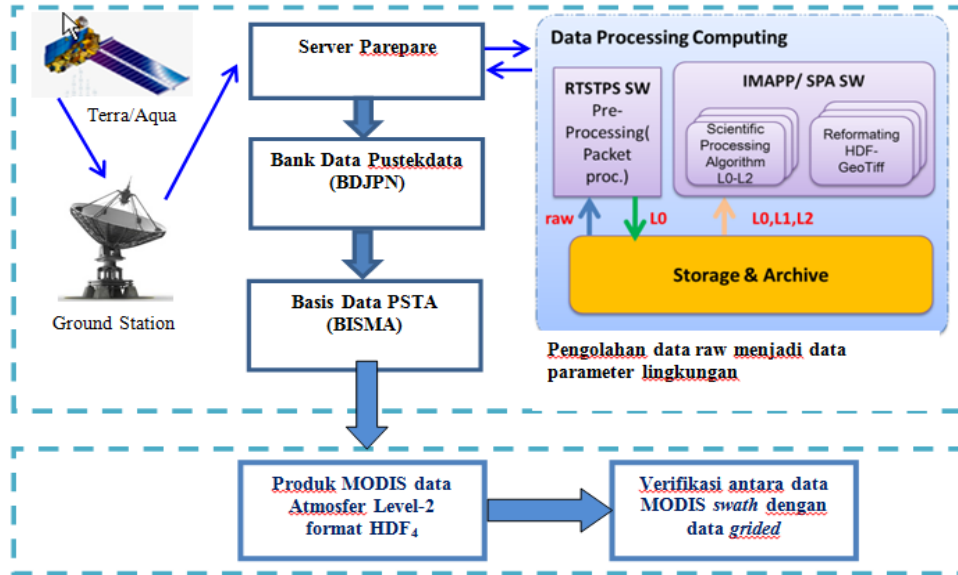
- B = Planck function,
- ϵ = emissivity,
- r = reflectivity,
- τ = level to space transmittance,
- θ = local solar zenith angle
- τ^* = level to surface transmittance, [$\tau^* = \tau_{\nu}(p_s) / \tau_{\nu}(p)$]

3 DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan TERRA/AQUA (MODIS, Level-2) *atmospheric profiles* MOD07/MYD07 dengan parameter temperatur dan uap air dalam format *HDF4 swath* harian untuk periode Desember 2014 dan Januari 2015 yang mewakili bulan basah, sedangkan Juli dan Agustus 2015 mewakili bulan kering (kemarau). Akuisisi data MODIS dari satelit Terra maupun Aqua telah dilakukan oleh Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, melalui stasiun bumi Pare-Pare sejak 2010.

Sistem Basis Data Penginderaan Jauh Nasional (BDJPN) juga telah dibangun, dimana salah satunya memuat koleksi data MODIS mulai dari level-1 hingga level-2 dan *true color*. Distribusi dan akses data MODIS bersifat gratis (*free*). Pengguna dapat mengakses data MODIS hasil akuisisi LAPAN melalui situs <http://modis-catalog.lapan.go.id>.

Khusus untuk aplikasi atmosfer, Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA) juga mengoleksi data untuk memenuhi kebutuhan penelitian dan pengembangan yang berbasis data *real-time*. Koleksi data MODIS yang dikelola PSTA dapat diakses melalui Sistem



Gambar 3-1: Diagram distribusidan pengolahan data MODIS di LAPAN dari data harian *swath* menjadi data *grided*

Basis Data Atmosfer Indonesia) di situs <http://bisma.sains.lapan.go.id>.

Metode yang digunakan adalah ekstraksi data *HDF4 swath* harian dengan program *Python*, dalam proses ekstraksi data *HDF4 swath* harian masih format **HDF** menjadi data *grided* harian dan bulanan level tiga (L-2) dengan format **.dat** sehingga data tersebut mudah diaplikasikan oleh pengguna terutama pada penelitian yang berkaitan dengan atmosfer. Perangkat yang digunakan untuk ekstraksi data *Atmospheric Profiles* adalah program *Python* beserta modul-modul *library*-nya (*Geospatial Data Abstraction Library, Matplotlib, Basemap, Numpy, Dateutil, Pyproj, Pyparsing* dan *Six* berbasis Windows (XP/7/Vista/8), Alur kegiatan terdapat seperti pada Gambar 3-1.

Data MODIS *swath* akan diverifikasi dengan data MODIS *grided* untuk Juli dan Agustus 2015. Penelitian

sebelumnya telah dilakukan verifikasi data MODIS dalam *swath HDF4* dengan menggunakan data observasi radiosonde dari situs *University of Wyoming* lokasi Jakarta, Surabaya, Pontianak, Padang, dan Makasar, pada periode data Januari 2013 – Maret 2014 dengan koefisien korelasi (r), yakni 0.99 (Risyanto dkk., 2013) dan menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) telah di ekstrak data MODIS level-1 *swath* menjadi level-2 *swath* (Sipayung dkk., 2014, Blackwell et al., 2005 dan Moradzadeh et al., 2014).

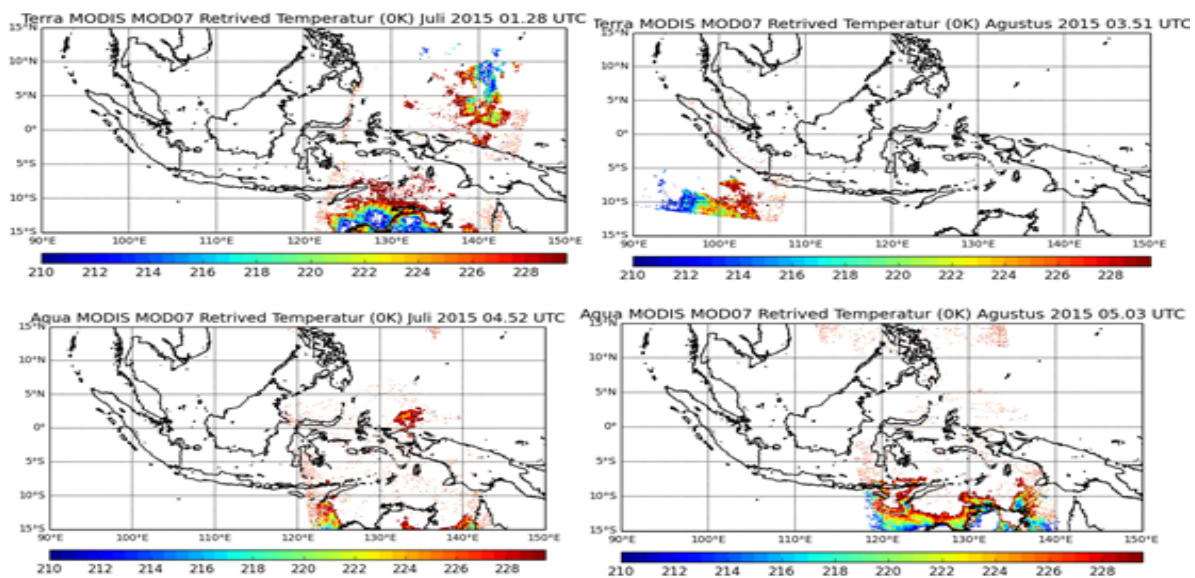
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hingga saat ini pemanfaatan data satelit Terra/Aqua untuk wilayah Indonesia masih terbatas khususnya terkait dengan informasi parameter atmosfer, dikarenakan resolusi temporalnya masih relatif rendah dibandingkan dengan satelit yang lain. Seperti pada

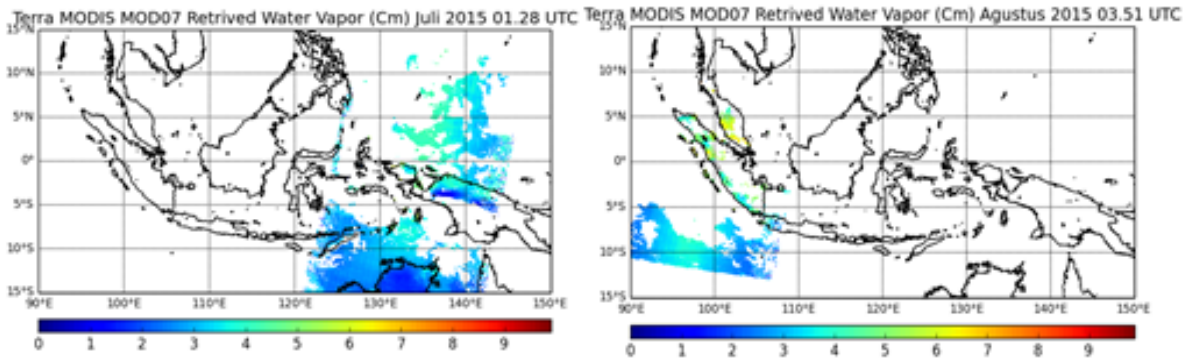
Gambar 4-1 untuk parameter temperatur ($^{\circ}\text{K}$) dan uap air (cm) yang diperoleh dari satelit Terra/Aqua dengan instrumen MODIS, berdasarkan *swath* untuk Juli dan Agustus 2015 di ketinggian temperatur 780 hPa dan uap air ketinggian 700 hPa hasil ekstraksi dari Terra MODIS MOD07. Pada Gambar 4-1 menunjukkan bahwa satelit Terra maupun Aqua hanya melewati 1-2 kali dalam satu hari, sehingga sangat sulit untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan fenomena-fenomena yang ada di atmosfer karena hanya satu kali berorbit polar. Telah dikembangkan Fitur sistem pengolah data Terra/Aqua MOD07 profil vertikal atmosfer dalam format gambar, txt, ASCII, dan diproyeksikan disimpan dalam bentuk tabulator 3 kolom dalam bentuk ASCII kemudian di *plot* ke dalam gambar dua dimensi dan txt sehingga *output* datanya adalah data siap pakai dengan file Ascii *.txt dan file binary format *.bin beserta file ctl-nya (Sipayung, dkk., 2015). Bila diperhatikan pada Gambar 4-1 yaitu satelit Terra/Aqua Juli dan Agustus untuk parameter

temperatur menunjukkan bentuk data dalam sapuan (*swath*) dari utara ke selatan ataupun sebaliknya dari selatan ke utara.

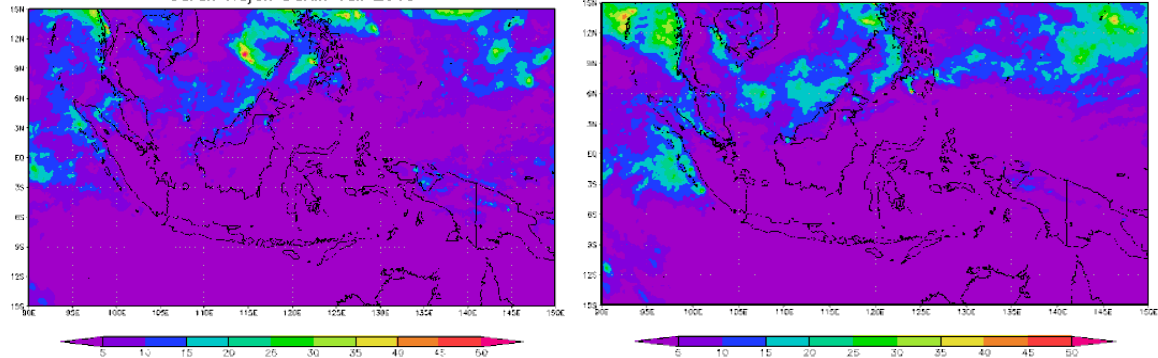
Hal yang sama terdapat pada Gambar 4-2 untuk parameter uap air terdapat sapuan (*swath*) yang berbeda arah antara terra dan aqua pada Juli dan Agustus 2015, namun dengan keterbatasan orbit satelit Terra/Aqua dalam harian masih sangat sulit untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan fenomena-fenomena atmosfer yang ada di wilayah Indonesia. Pada saat yang bersamaan sebagai data pembandingan dapat dilihat kondisi curah hujan di Indonesia di tanggal yang sama pada Gambar 4-2 dan Gambar 4-3, bahwa pola uap air pada Agustus 2015 dapat diidentifikasi pada pola curah hujan Agustus 2015. Produk dari MODIS tidak hanya mengkaji fenomena di atmosfer akan tetapi mengkaji fenomena di darat yaitu untuk mengetahui iklim kering. (Zhou *et. al.*, 2014).



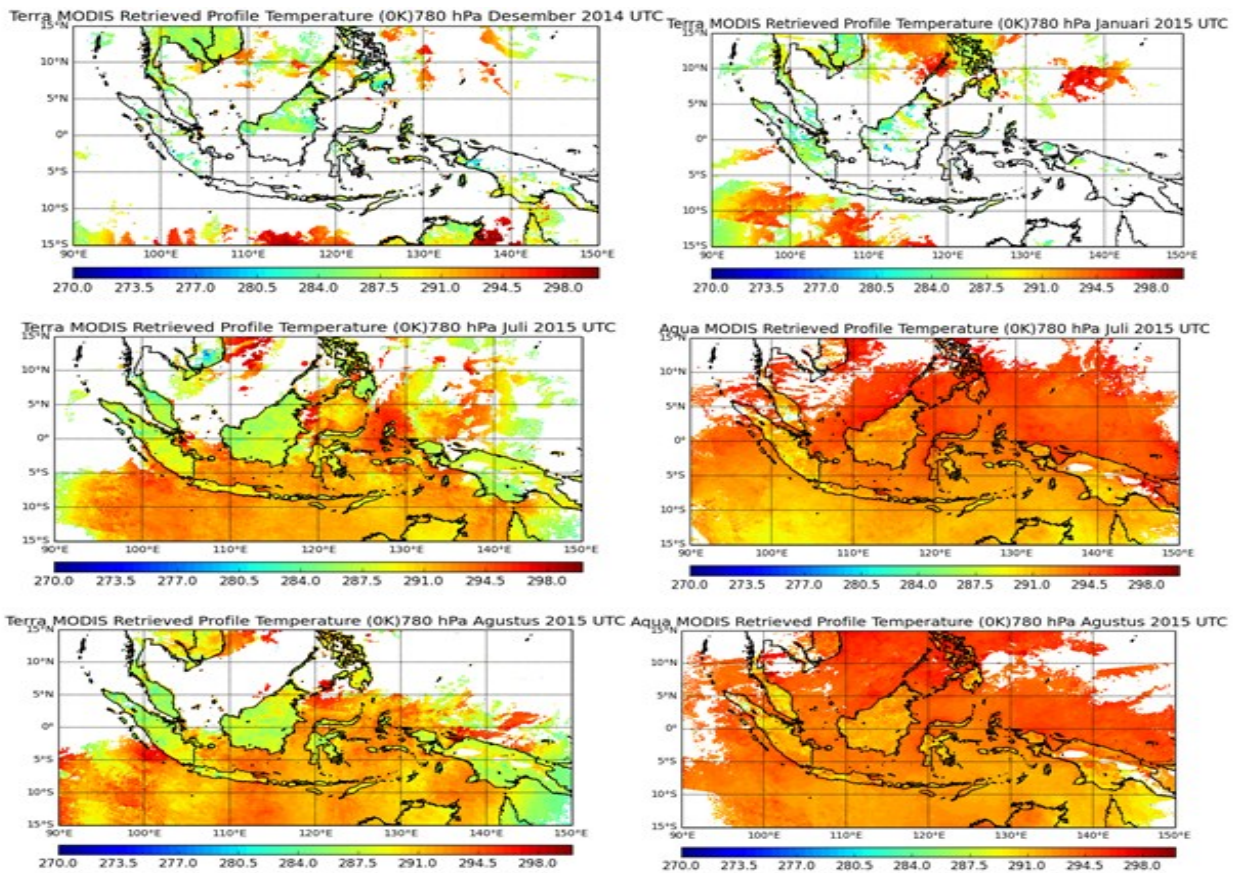
Gambar 4-1: Temperatur berupa *swath* Terra/Aqua bulan Juli dan Agustus 2015



Gambar 4-2: Uap air berupa swath Terra bulan Juli dan Agustus 2015



Gambar 4-3: Pola curah hujan bulan Juli dan Agustus 2015

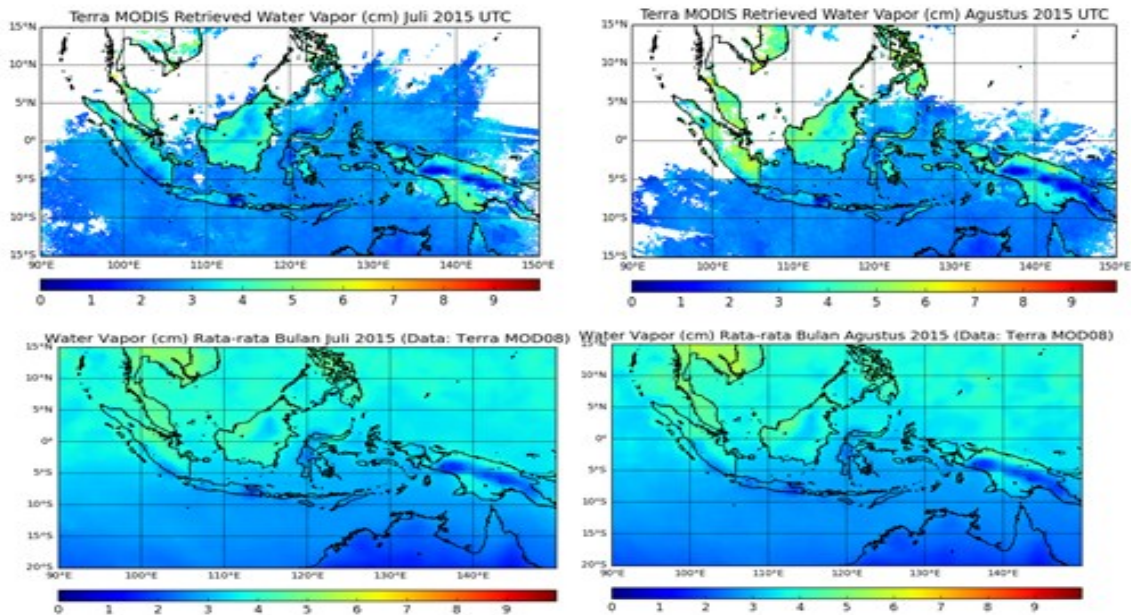


Gambar 4-4: Temperatur Terra/Aqua MODIS grided Desember 2014, Januari, Juli dan Agustus 2015

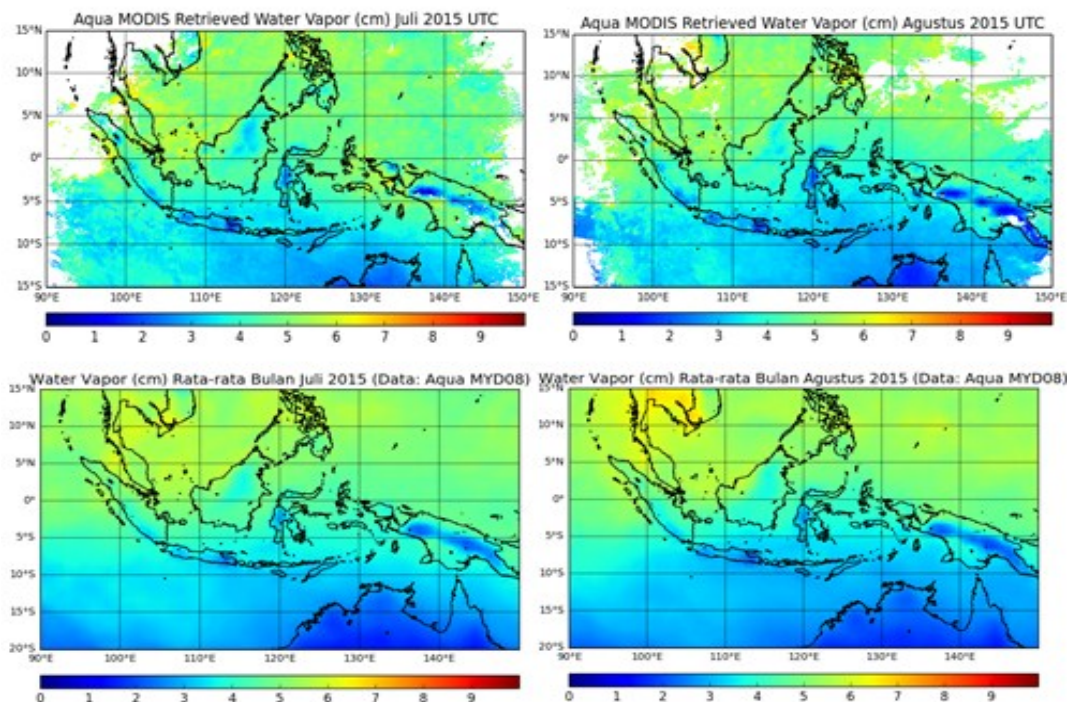
Hal yang sama terdapat pada ekstraksi data dari *swath* harian menjadi *grided* harian untuk Juli dan Agustus 2015. Yang perlu diperhatikan adalah bagaimana ekstraksi data satelit Terra/Aqua (MODIS) temperatur dan uap air pada Juli dan Agustus 2015 dari data *swath* harian menjadi data *grided* bulanan seperti pada Gambar 4-4.

Dari gambar tersebut memang masih sulit diperoleh informasi yang

berkaitan dengan fenomena-fenomena yang ada di atmosfer khususnya pada Desember 2014. Terkait dengan itu diperlukan pengambilan satu titik lokasi observasi berdasarkan koordinat lintang dan bujur dan dilakukan validasinya sesuai dengan data pengukuran dari Radiosonde berdasarkan profil vertikal atmosfer dengan ketinggian yang sama dan waktu yang bersamaan.



Gambar 4-5: Perbandingan uap air satelit Terra MODIS *grided* Juli dan Agustus 2015 dengan uap air MOD08 level-3 yang diambil dari <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>

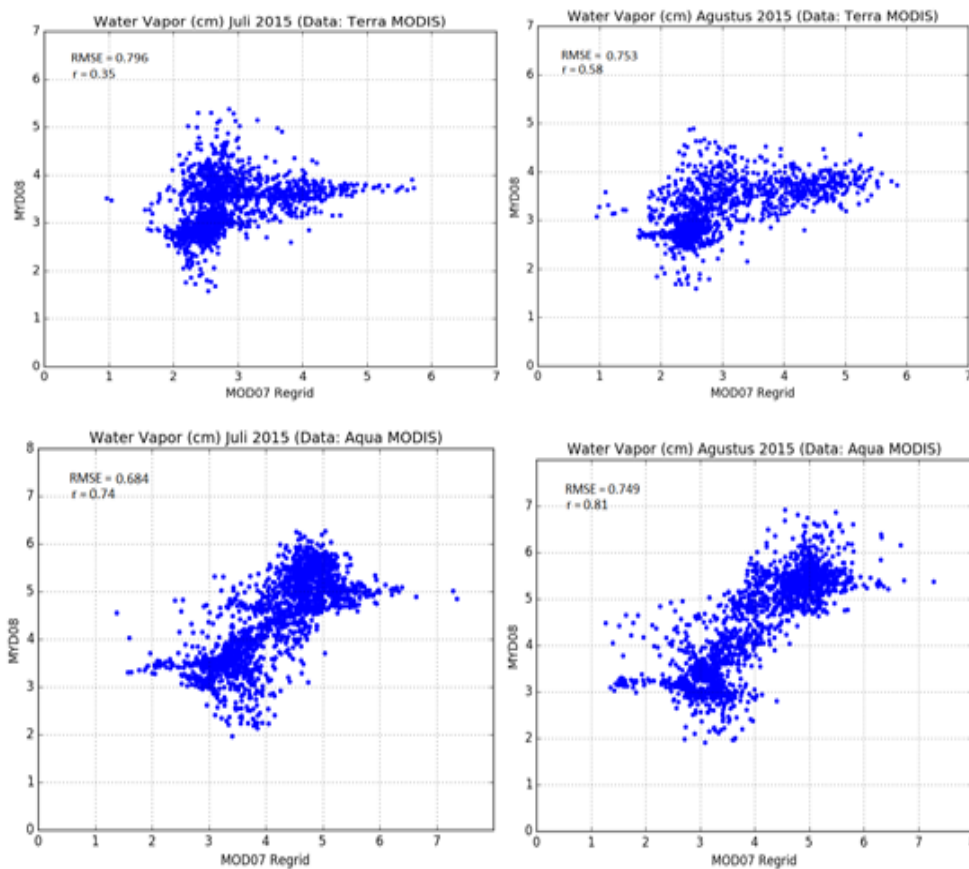


Gambar 4-6: Perbandingan uap air satelit Aqua MODIS *grided* bulan Juli dan Agustus 2015 dengan uap air MOD08 level-3, yang diambil dari <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>

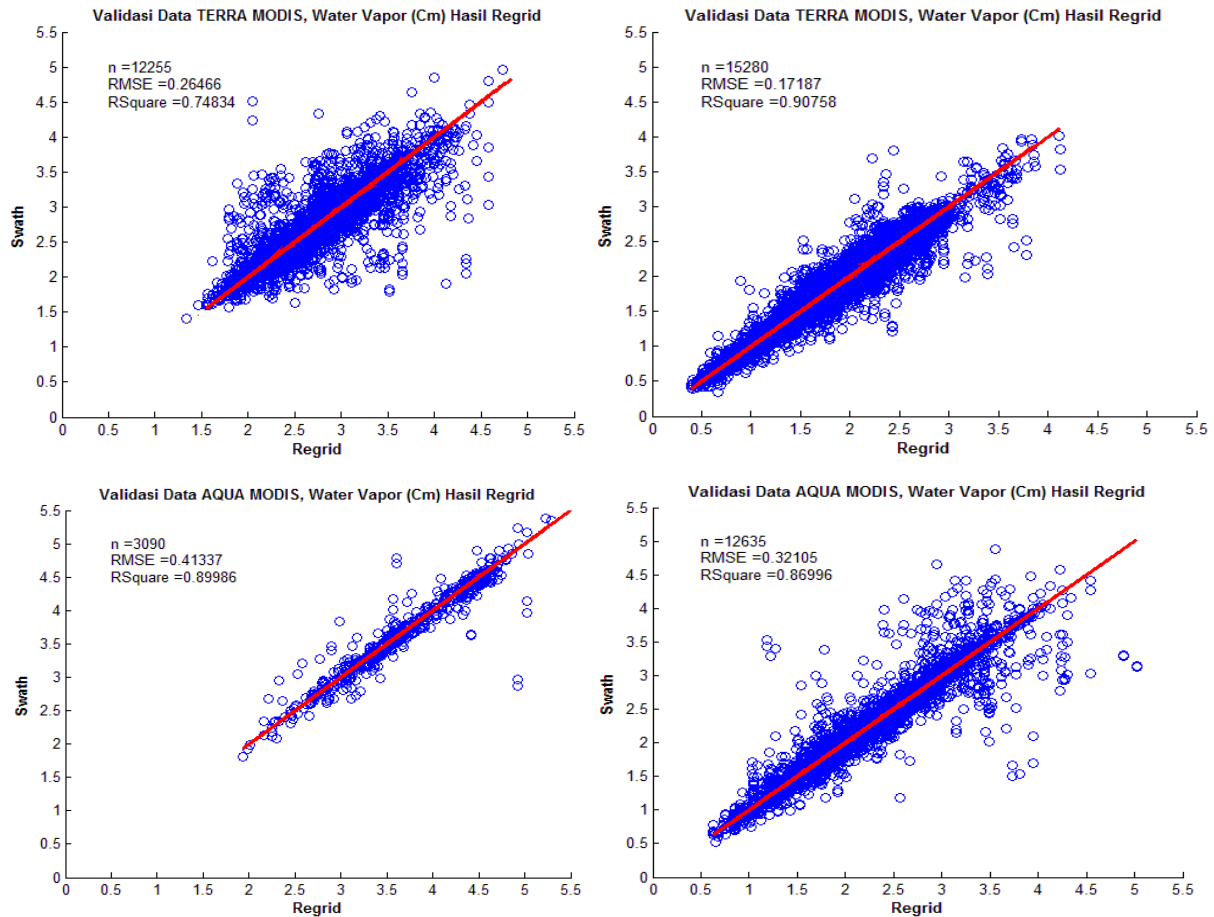
Pada Gambar 4-5 dan 4-6 terdapat perbandingan antara uap air dari satelit Terra MODIS *grided* hasil turunan dari MODIS Level-2 dengan uap air MOD08 level-3 yang diunduh di <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> bulan Juli dan Agustus 2015, dimana data MODIS diolah menjadi berbagai tingkat pengolahan dari Level-1 (radiasi dan kecerahan suhu) serta geolokasi telah di koreksi menggunakan *Software Real-time Software Telemetry Processing System (RT-STPS)* dan *International MODIS/AIRS Processing Package (IMAPP)*. Data raw level nol (L-0) hingga data *Environmental Data Record (EDR)* level dua (L-2) menjadi parameter lingkungan, sedangkan Level-3 keseragaman pemetaan dalam *regrid* (Michael, et al., 2003).

Pada Gambar 4-7 terdapat validasi antara Terra MODIS uap air MOD07 *grided* level-2 dengan uap air MOD08 level-3 Juli dan Agustus 2015. Dari perbandingan tersebut terdapat

RMSE pada Juli-Agustus masing-masing 0.79 dan 0.75 sedangkan $r = 0.35$ dan 0.58. Berbeda dengan Aqua MODIS terdapat perbandingan RMSE pada Juli-Agustus masing-masing 0.68 dan 0.74 sedangkan $r = 0.7$ dan 0.8. Untuk menganalisis data yang sudah diekstrak tergantung pada waktu data satelit Terra/Aqua MOD07/MYD07, karena mengikuti waktu Indonesia adalah WIB terutama pada Juli dan Agustus 2015, sedangkan data yang diolah menggunakan UTC/GMT sehingga perlu menambahkan 7 jam waktu wilayah Indonesia. Dalam Gambar 4-8 dapat dilihat bahwa nilai korelasi tertinggi antara data *swath* dengan data *grided* temperatur terjadi pada Juli 2015 yaitu satelit Aqua MODIS yaitu sebesar 0,71, bila dibandingkan dengan Agustus 2015, seperti yang dilakukan (Li et al., 2013) menggunakan profil NCEP dan MOD07 menunjukkan korelasi yang baik RMSE) dari 1.16 dan 1.21.



Gambar 4-7: Validasi Terra/Aqua MODIS uap air *grided* level-2 dengan uap air MOD08 pada bulan Juli dan Agustus 2015



Gambar 4-8: Validasi Terra dan Aqua MODIS water vapor swath dan *grided* pada bulan Juli dan Agustus 2015 di Indonesia

5 KESIMPULAN

Dalam sistem pengolahan data satelit Terra/Aqua yang diunduh dari Basis Data Atmosfer Indonesia (BISMA) *swath* dalam format HDF4 level dua (L-2) menjadi data ASCII, telah dapat diaplikasikan. Untuk meningkatkan ekstraksi data dari hasil metode digunakan validasi antara data *swath* dan *grided* di beberapa titik wilayah Indonesia, dari Terra/Aqua untuk temperatur dengan nilai koefisien korelasi rata-rata $r=0.72$ dan $RMSE=0.74$. Sedangkan Terra/Aqua untuk *water vapor* nilai koefisien korelasi rata-rata $r=0.86$ dan $RMSE=0.29$, bahwa penyimpangan terjadi rata-rata di bawah satu derajat kelvin dan 1 sentimeter. Sedangkan validasi antara Terra MODIS uap air MOD07 *grided* level-2 dengan uap air MOD08 level-3 dari <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> pada Juli dan Agustus 2015 yang sama $RMSE$

0.79 dan 0.75 sedangkan $r=0.35$ dan 0.58. Hasil yang telah diperoleh belum mencakup Indonesia seluruhnya karena hanya satu kali sapuan (*swath*) yaitu orbit utara – selatan di sore hari (satelit Aqua). Parameter atmosfer yang lain telah tersedia di BISMA, namun belum semua tervalidasi karena ketersediaan data pengukuran in-situ sangatlah terbatas. Masih diperlukan data tambahan yaitu data observasi radiosonde sebagai data pembanding untuk mendapatkan informasi atmosfer wilayah khususnya wilayah Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Kepala Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer yang telah memfasilitasi data satelit Terra/Aqua, sehingga data tersebut dapat di unduh dari BISMA LAPAN Bandung yang terhubung secara *near real-time* dengan

stasiun bumi penerima data satelit penginderaan jauh Pare Pare.

DAFTAR RUJUKAN

- Asrar, G., and Dokken, D. J., 1993. *EOS Reference Handbook* (Greenbelt; MD: NASA).
- Blackwell, W. J., 2005. *A Neural-Network Technique for the Retrieval of Atmospheric Temperature and Moisture Profiles from High Spectral Resolution Sounding Data*, IEEE Trans, Geosci. Remote Sens., Vol. 43, No. 11, 2535-2546.
- Free Melissa, 2011. *The Seasonal Structure of Temperature Trends in the Tropical Lower Stratosphere*, Journal Of Climate. VOL, 24, 859-866.
- Kim Y. S, B. H. Kwon and K. M. Hong, 2004. *Vertical Temperature and Moisture Structure In Lower Atmosphere Retrived From Terra/Modis*, Gayana 68 (2) supl. T.I. Proceeding. Vol.68 No.2: 319-323,. ISSN 0717-652X.
- Li Hua, Qinhuo Liu, Yongming Du, Jinxiong Jiang, and Heshun Wang, 2013. *Evaluation of the NCEP and MODIS Atmospheric Products for Single Channel Land Surface Temperature Retrieval with Ground Measurements: A Case Study of HJ-1B IRS Data*, IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, VOL. 6, NO. 3.
- Li J, Wolf W, Menzel WP, Zhang W, Huang HL, Achtor TH., 2000. *Global Soundings of the Atmosphere from ATOVS Measurements: the Algorithm and Validation*, Journal of Applied Meteorology 39: 1248-1268.
- Majid Rahimzadegan and M. Reza Mobasheri, 2011. *An Attempt for Improving MODIS Atmospheric Temperature Profiles Products in Clear Sky*, Meteorol. Appl. 18: 181-187. Published online 16 August 2010 in Wiley Online Library.
- Menzel, W. P., Seemann, S.W., Li, J., Gumley, L.E., 2002. *MODIS Atmospheric Profile Retrieval Algorithm Theoretical Basis Document*, Available through NASA MODIS Web site http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/reference_atbd.html.
- Michael D. King, Member, IEEE, W. Paul Menzel, Yoram J. Kaufman, Didier Tanré, Bo-Cai Gao, Steven Platnick, Steven A. Ackerman, Lorraine A. Remer, Robert Pincus, and Paul A. Hubanks, 2003. *Cloud and Aerosol Properties, Precipitable Water, and Profiles of Temperature and Water Vapor from MODIS*, IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 41, No. 2, 442.
- Moradzadeh, M., Momeni, M. & Saradjian, M.R., 2014. *Estimation and Validation of Atmospheric Water Vapor Content using a MODIS NIR Band Ratio Technique Based on AIRS Water Vapor Products*, Arab J Geosci (2014) Vol. 7: 1891-1897. doi:10.1007/s12517-013-0828-2.
- NASA, Diakses pada 3 September, 2013. *Moderate-resolution Imaging Spectro Radiometer (MODIS)*, <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>.
- Randel, W.J., and E.J. Jensen, 2013. *Physical Processes in the Tropical Tropopause Layer and their Role in a Changing Climate*, Nature Geoscience, 6, 169-176.
- Risyanto, S. B. Sipayung, dan E. Maryadi, 2013. *Analisis Profil Suhu Vertikal Di Beberapa Lokasi Berbasis Satelit*, Prosiding Seminar Sains Atmosfer. Bandung, 28 Agustus 2013. ISBN: 978-979-1458-73-3.
- Seemann, S. W., J. Li, L. E. Gumley, K. I. Strabala, and W. P. Menzel, 2002. *One Year of Global Atmospheric Total Column Precipitable Water Vapor Retrievals from MODIS Infrared Radiances*, Remote Sensing of the Earth's Environment from Terra - Lectures at the International Summer School on Atmospheric and Oceanic Sciences (ISSAOS 2002) from 25 - 30 August 2002 in L'Aquila, Italy. A Springer publication.
- Seemann, S. W., Jun Li, W. Paul Menzel and Liam E. Gumley, 2003. *Operational Retrieval of Atmospheric Temperature, Moisture, and Ozone from MODIS Infrared Radiances*, Journal of Applied Meteorology: VOL. 42. Page 1072-1092.
- Seemann, S. W., Eva E. Borbas., Jun Li., W. Paul Menzel, Liam E. Gumley, 2006. *MODIS Atmospheric Profile Retrieval, Algorithm Theoretical Basis Document*.
- Sipayung, S. B., Risyanto, dan E. Maryadi, 2014. *Aplikasi Artificial Neural Network (ANN) untuk Estimasi Profil Vertikal Temperatur dan Kelembapan dari Data MODIS*, Prosiding Nasional, Simposium Fisika Nasional (SFN XXVII), Bali, "Fisika Dalam Kehidupan Sehari-hari". Universitas Udayana, Bali-Indonesia, 16-17 Oktober, 2014. ISSN: 1411-4771.
- Sipayung, S. B., Risyanto, dan E. Maryadi, 2015. *Pengembangan Metode Pengolahan*

- Data Profil Vertikal Atmosfer Berbasis Satelit*, (Publikasi BUKU Ilmiah LAPAN Tahun 2015 CV. Media Akselerasi). ISBN : 978-979-1458-94-8).
- WU Xuebao, LI Jun, ZHANG Wenjian, and WANG Fang, 2005. *Atmospheric Profile Retrieval with AIRS Data and Validation at the ARM CART Site*, *Advances In Atmospheric Sciences*, VOL. 22, NO. 5, 647–654.
- Zhou Ji, Xu Zhang, Wenfeng Zhan and Huailan Zhang, 2014. *Land Surface Temperature Retrieval from MODIS Data by Integrating Regression Models and the Genetic Algorithm in an Arid Region*, *Remote Sens.* 2014, 6, 5344-5367; doi:10.3390/rs6065344.www.mdpi.com/journal/remotesensing.
- <http://modis-catalog.lapan.go.id>.
- <http://bisma.sains.lapan.go.id>.
- <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>