

PENGOLAHAN GEOLOKASI PRODUK DATA GAS RUMAH KACA (GRK) DARI SATELIT SUOMI NPP ATMS DAN CRIS DENGAN METODE INTERPOLASI *RADIAL BASIS FUNCTION*

(GEOLOCATION PROCESSING OF GREENHOUSE GASES PRODUCT DATA FROM SUOMI NPP SATELLITE ATMS AND CRIS USING RADIAL BASIS FUNCTION INTERPOLATION)

Andy Indradjad^{*}, Haris Suka Dyatmika, Noriandini Dewi Salyasari, Liana Fibriawati, Masnita Indriani
Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, LAPAN

^{*}e-mail: andy.indradjad@lapan.go.id

Diterima: 6 November 2017; Direvisi: 6 Februari 2018; Disetujui: 6 Februari 2018

ABSTRACT

Geolocation processing to produce spatial greenhouse gases data products consisting of CH₄, CO₂ and N₂O gases has been carried out systematically. The greenhouse gases data are derived from Enviomental Data Record (EDR) Suomi NPP Satellite CrIS and ATMS Sensor products. During this process, there is an obstacle while performing the information data of greenhouse gases concentrations, due to the result of systematic processing files from EDR are still in netcdf format, so that it could not be distributed to users as they expected. The unique of unlimited netcdf format is that, it displays only numeric values with irregular resolution, unregistered and incompatible with commonly processing data software. This research aims to produce geolocation processing module in order to provide information of greenhouse gases data spatially by using coordinate pixel registration method into image data, convert Digital Number (DN) value with scale corresponding to Indonesian region and interpolation value between pixels with Radial Basis Function (RBF) method using linear function. The result from the geolocation processing module of greenhouse gases data product are concentration information from some altitude level. The product is in geotiff format with 50 km spasial resolution.

Keywords: *greenhouse gasses, CrIS, ATMS, geolocation*

ABSTRAK

Pengolahan geolokasi untuk menghasilkan produk data gas rumah kaca (GRK) spasial yang terdiri dari gas CH₄, CO₂ dan N₂O telah dilakukan secara sistematis. Data gas rumah kaca tersebut dihasilkan dari produk Enviromental Data Record (EDR) Satelit Suomi NPP Sensor CrIS dan ATMS. Hingga saat ini terdapat permasalahan dalam penyajian data informasi konsentrasi gas rumah kaca, yaitu file hasil pengolahan sistematis masih dalam format netcdf sehingga belum dapat didistribusikan untuk melayani kebutuhan pengguna. Format netcdf terbatas hanya menampilkan nilai berupa angka, resolusi yang tidak seragam, belum teregistrasi dan tidak *compatible* dengan aplikasi pengolahan data yang umumnya digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan modul pengolahan geolokasi yang dapat menyajikan informasi data gas rumah kaca secara spasial. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah registrasi piksel koordinat ke dalam data citra, konversi nilai *Digital Number* (DN). Interpolasi nilai antar piksel menggunakan metode *Radial Basis Function* (RBF) dengan fungsi linier. Hasil dari penelitian ini adalah modul pengolahan geolokasi produk data yang dapat menyajikan informasi konsentrasi gas rumah kaca pada beberapa level ketinggian. Produk yang dihasilkan dalam format *geotiff* dengan resolusi spasial 50 km.

Kata kunci: *gas rumah kaca, CrIS, ATMS, geolokasi*

1 PENDAHULUAN

Gas rumah kaca adalah gas-gas yang ada di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca. Gas-gas tersebut antara lain CO₂, CO, CH₄, O₃, SO₂, NO₂ dan aerosol. Gas-gas tersebut ada secara alami di lingkungan, tetapi aktivitas manusia dapat meningkatkan konsentrasi gas-gas tersebut. Iklim di bumi semakin memanas akibat emisi antropogenik gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂) dari pembakaran bahan bakar fosil. Emisi antropogenik gas rumah kaca non-CO₂, seperti metana, oksida nitrat dan zat perusak ozon (sebagian besar berasal dari sumber selain bahan bakar fosil), juga berkontribusi secara signifikan terhadap pemanasan iklim bumi (Montzka et al., 2011).

Pengukuran gas rumah kaca menggunakan satelit merupakan salah satu metode yang efisien karena mampu mengamati emisi gas di seluruh dunia hanya dengan menggunakan instrumen tunggal dalam periode yang lama (Beirle et al., 2010). Pengukuran gas rumah kaca menggunakan satelit merupakan pendekatan yang paling efektif untuk memantau distribusi global gas rumah kaca dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi. Satelit penginderaan jauh yang mengamati dan mengukur gas-gas rumah kaca yang di atmosfer memanfaatkan sistem *Geostationer* (GEO) dan *Low Earth*

Orbiting (LEO) yang mampu menyediakan data dengan resolusi spasial dan temporal yang berbeda (Thies & Bendix, 2011).

Selama dekade terakhir, terdapat beberapa jenis pengamatan gas rumah kaca menggunakan satelit. Pengamatan gas rumah kaca CO₂ dan CH₄ di atmosfer telah dilakukan oleh *Atmospheric InfraRed Sounder* (AIRS) bagian dari Aqua dan *Short-Wavelength Infrared* (SWIR) dengan the *Scanning Imaging Absorption spectrometer for Atmospheric Chartography* (SCIAMACHY) pada satelit ENVISAT ESA (Yoshida et al., 2011). Kedua pengukuran gas CO₂ di atmosfer baik melalui *near infrared* maupun *thermal infrared sounder* dapat berpotensi mengukur iklim global dengan akurasi yang cukup (Strow & Hannon, 2008). *Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS) merupakan salah satu sensor *infrared sounder* bagian dari misi satelit Aqua NASA yang dapat menyediakan perhitungan untuk beberapa gas rumah kaca. AIRS bersama dengan *Advanced Microwave Sounding Unit* (AMSU) telah mampu melakukan konversi dari hasil observasi menjadi informasi yang berguna untuk pemantauan sistem iklim global (Chahine et al., 2006). Salah satu instrumen MIPAS di satelit ENVISAT ESA menghasilkan pengukur global secara ekstensif mengenai distribusi karbon monoksida (CO) dengan menggunakan

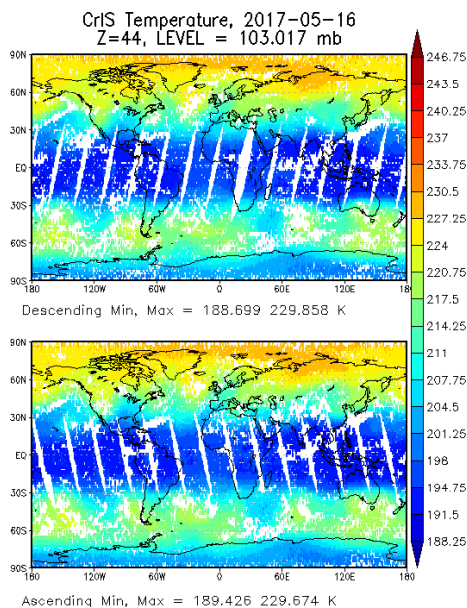
CO-Limb sounder (Funke et al., 2007) sedangkan profil CO secara vertikal pada troposfer diselesaikan oleh *Microwave Limb Sounder* (MLS) di satelit AURA (Livesey et al., 2008). Salah satu instrumen dari NOAA-11 telah mampu mengukur total kolom ozon dan profil ozon sejak 1988. Temperatur atmosfer pada troposfer bawah dan stratosfer dapat diperoleh melalui perhitungan penyerapan CO₂ dari *High Resolution Infrared Radiation Sounder* (HIRS) dan penyerapan oksigen dari *Microwave Sounding Unit* (MSU) pada satelit NOAA (Chung & Soden, 2010). Instrumen dari satelit ESA yang lain yaitu GOME dan SCIAMACHY juga mampu membuat permodelan untuk mengukur gas Nitrogen Oksida NO₂ yang merupakan salah satu gas rumah kaca (Boersma, Eskes, & Brinksma, 2004). Satelit India IRS pun turut melakukan perhitungan konsentrasi gas sulfur (SO₂) dalam satu instrumennya (Prata & Bernardo, 2007). Berbagai pembaharuan pada sistem satelit LEO seperti *Earth Observing Satellite* (EOS) Terra dan Aqua dengan sensor MODIS telah memiliki akurasi yang lebih tinggi untuk mengamati awan dan permukaan bumi. Instrumen untuk mengamati profil vertikal gas rumah kaca pada atmosfer dijawab oleh *Cross-track Infrared Sounder* (CrIS) yang dikombinasikan dengan *Advanced Technology Microwave Sounder* (ATMS) dengan cakupan spektral yang lebih besar. CrIS dan ATMS merupakan sensor bagian dari satelit Suomi NPP dimana memiliki misi utama melanjutkan misi Terra, Aqua dan Aura. CrIS dan ATMS beroperasi bersamaan untuk mengetahui profil temperatur atmosfer dan kelembaban pada *clear-sky* dan awan mendung. Pengamatan pada curah hujan tinggi mengakibatkan kemampuan *microwave* terdegradasi. CrIS dan ATMS akan berkelanjutan mendukung *Numerical Weather Prediction* (NWP) untuk ketrampilan ramalan cuaca dari jarak dekat hingga menengah (Thies & Bendix, 2011). CrIS adalah spektrometer transformasi fourier pada *Suomi National Polar-Orbiting Operational Environmental Satellite System Preparatory Project satellite* (S-NPP) yang diluncurkan pada tanggal 28 Oktober 2011. CrIS terdiri dari tiga kanal spektral yaitu kanal *Long-Wave IR* (LWIR), kanal *Midwave IR*

(MWIR) dan kanal *Short-Wave IR* (SWIR). CrIS dengan jangkauan spektral yang sama akan melanjutkan fungsi pengukuran gas-gas rumah kaca di atmosfer yang sebelumnya dilakukan oleh AIRS pada satelit Aqua (Han et al., 2013). Sedangkan ATMS merupakan kelanjutan dari AMSU dari NOAA 18 dengan memiliki beberapa kanal yang memiliki kesamaan. ATMS memiliki beberapa ekstensi dan perbaikan yang penting dibandingkan AMSU. Banyak fitur dari ATMS yang dapat menangkap secara terperinci struktur termal untuk meningkatkan pemantauan dan peramalan siklon tropis (Weng et al., 2012).

Stasiun Bumi Parepare telah mampu menghasilkan data dari instrumen ATMS dan CrIS untuk mendukung pengukuran gas rumah kaca di atmosfer. Sensor ATMS menyediakan data temperatur atmosfer dan kelembaban untuk keperluan prakiraan cuaca dan pengamatan iklim, sedangkan sensor CrIS menghasilkan data mengenai temperatur, tekanan, dan kelembaban bumi. Pengolahan data untuk menghasilkan produk gas rumah kaca dari sensor ATMS dan CrIS dikerjakan secara sistematis. Data gas rumah kaca tersebut diturunkan dari produk *Environmental Data Record* (EDR) Satelit Suomi NPP Sensor CrIS dan ATMS. Data yang diperoleh dari pengolahan data satelit Suomi NPP dengan sensor CrIS dan ATMS ke level EDR memiliki format netcdf. Data dengan format netcdf berisi tabel angka-angka berupa besarnya nilai-nilai parameter yang direkam satelit. Untuk menampilkan informasi gas rumah kaca secara spasial maka diperlukan suatu modul pengolahan geolokasi untuk data EDR CrIS dan ATMS.

Permasalahan yang dihadapi dalam menghasilkan data informasi gas rumah kaca adalah produk EDR dari data CrIS dan ATMS masih memiliki format netcdf, belum teregistrasi dan tidak *compatible* dengan aplikasi pengolahan data spasial pada umumnya. Sistem pada sensor CrIS dan ATMS melakukan pengolahan geolokasi secara otomatis hingga level *Sensor Data Record* (SDR). Sementara itu informasi gas rumah kaca yang terdapat di EDR hanya merupakan informasi konsentrasi gas rumah kaca secara vertikal dan belum

dalam bentuk spasial. Kondisi demikian menyebabkan informasi data gas rumah kaca belum dapat langsung dimanfaatkan sesuai kebutuhan pengguna. Banyak perangkat lunak yang dapat membaca file dengan format netcdf seperti MATLAB, IDL, GrADS dan NCAR Command Language (NCL), namun tidak semua pengguna data mampu mengolah dengan perangkat lunak tersebut. Oleh karena itu diperlukan modul untuk mengkonversi data berformat netcdf menjadi data spasial. Gambar 1-1 menunjukkan hasil produk yang disajikan pada website NOAA yang merupakan produk global dengan grid 0,5 derajat. Data tersebut bisa didapatkan pada website yaitu: http://www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/soundings/nucaps/NUCAPS_gridded.html. Pada website tersebut dapat dilihat beberapa informasi tentang gas rumah kaca secara global pada 7 hari terakhir.



Gambar 1-1: Produk NUCAPS Sounding: SNPP Global Gridded 0,5 deg lat x 2 deg (NOAA, et al 2015)

Pengolahan geolokasi data CrIS dan ATMS memerlukan teknik interpolasi. Untuk interpolasi satu dimensi banyak metode yang dapat digunakan seperti misalnya *polynomial* dan interpolasi *fourier*. Untuk interpolasi

lebih dari satu dimensi, metode yang digunakan berbeda dengan yang digunakan pada interpolasi satu dimensi, karena titik-titik data yang diinterpolasi bukan skalar namun berupa vektor. Masalah interpolasi *non-singular* ini dapat diatasi dengan pendekatan yang berbeda yakni dengan fungsi interpolasi. Kombinasi linear dari beberapa fungsi basis yang tidak bergantung dengan titik-titik data digantikan dengan kombinasi dari translasi satu fungsi basis yang secara radial simetris dengan pusatnya atau disebut dengan interpolasi RBF (Wright, 2003).

Ada beberapa metode interpolasi multidimensi khususnya untuk menangani pola data belum diketahui yang tersebar. Metode interpolasi *Nearest Neighbours* yang digunakan peneliti Droug Aiger untuk rekonstruksi data dengan memanfaatkan *image matching* (Aiger, Kokiopoulou, & Rivlin, 2013). Dalam penelitian yang lain metode interpolasi *kriging* digunakan untuk melakukan *temperature mapping* sebagai langkah *filtering* citra MODIS LST (Hengl et al., 2012)

Metode RBF didasarkan pada prinsip fungsi implisit variatif dan dapat digunakan untuk interpolasi dari data yang tersebar/ tidak beraturan. RBF dapat digunakan untuk *retouching* permukaan atau *inpainting image*. Kelebihan melakukan *retouching* atau *inpainting* data citra adalah karena menggunakan sistem pendekatan linier dan mudah untuk dipecahkan. Kekurangannya adalah kemungkinan kesalahan dalam pemilihan radius (Uhlir & Skala, 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk membangun modul pengolahan geolokasi untuk menampilkan informasi gas rumah kaca secara spasial dengan metode interpolasi RBF. Gas rumah kaca yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah Gas CH₄, CO₂, dan N₂O. Selanjutnya hasil data divalidasi dengan menggunakan data GOSAT dan data NUCAPS GLOBAL yang di download secara langsung dari NOAA.

2 METODOLOGI

2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra resolusi rendah dari satelit Suomi NPP dari sensor CrIS dan ATMS yang diakuisisi oleh stasiun bumi penginderaan jauh Parepare pada tanggal 22 Februari 2017 dan 27 Oktober 2017. Data atmosfer CrIS dan ATMS diolah dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan *Community Satellite Processing Package* (CSPP) dari level *Raw Data Record* (RDR) hingga *Sensor Data Record* (SDR). Proses pengolahan data sensor CrIS dan ATMS ke level SDR telah dibahas pada penelitian sebelumnya (Indradjad & Salyasari, 2016), serta pengolahan dari level SDR hingga EDR juga telah dibahas (Indradjad & Salyasari, 2017).

Informasi gas rumah kaca diperoleh dari data CrIS dan ATMS produk *Environmental Data Record* (EDR) menggunakan perangkat lunak NOAA *Unique CrIS/ATMS Processing System* (NUCAPS) dengan format netcdf. Data NUCAPS EDR dalam format netcdf menyimpan informasi mulai dari metadata, geolokasi sampai dengan parameter terukur sensor.

Tabel 2-1 menunjukkan beberapa contoh deskripsi jenis variabel dan

atribut yang tersimpan di dalam file netcdf. Setiap variabel memiliki tipe data yang berbeda-beda seperti *double* dan *float* dengan unit/satuan yang berbeda-beda juga. Hal tersebut mengakibatkan skala yang digunakan untuk masing-masing variabel juga berbeda jauh. Variabel-variabel terukur seperti gas-gas rumah kaca memiliki 100 lapisan ketinggian pada masing-masing variabelnya.

2.2 Metodologi

Modul pengolahan geometrik dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Python. Parameter yang diproses dalam modul ini antara lain H2O_MR, Liquid_H2O_MR, O3_MR, CH4_MR, CO2, CO_MR, SO2_MR, HNO3_MR dan N2O_MR pada tingkat 97, 91, 85, 75, 70, 63, 60, 55, 50, 44, 39, 35, 29, 20, dan 9. Berikut adalah langkah-langkah pengolahan geometrik data CrIS dan ATMS:

1) Registrasi koordinat piksel

Registrasi koordinat dilakukan dengan menghitung posisi masing-masing nilai variabel terukur dengan koordinat latitude, longitude, batas pojok kiri atas dan kanan bawah citra spasial yang akan dibuat.

Tabel 2-1: CONTOH VARIABEL DAN ATRIBUT DATA ATMOSFER CRIS DAN ATMS DALAM FILE NETCDF (NOAA et al., 2015)

Variable	Type	Description	Dim	Units	Range
Time	Double	UTC Milliseconds since Jan 1, 1970	120	Milliseconds	950000000000 to 2500000000000
Latitude	Float	Latitude of the center of the FOR	120	Degrees	-90 to 90
Longitude	Float	Longitude of the center of the FOR	120	Degrees	-180 to 180
CH4	Float	Methane layer column density	100X 120	molecules/cm2	0 to 100000000
CH4_MR	Float	Methane mixing ratio	100X 120	ppb	0 to 100000000
CO2	Float	Carbon dioxide dry mixing ratio	100X 120	ppm	0 to 1000
N2O	Float	Nitrous Oxide layer column density	100X 120	molecules/cm2	0 to 100000000
N2O_MR	Float	Nitrous Oxide mixing ratio	100X 120	ppb	0 to 100000000

2) Konversi nilai Digital Number (DN) dengan skala yang sesuai

Nilai masing-masing variabel terukur diskala ulang ke dalam skala yang sesuai dengan citra spasial. Skala ulang dilakukan dengan menentukan batas atas dan bawah nilai sebelum dan setelah skala ulang kemudian dilakukan penyesuaian pada nilai antaranya. Batas atas dan bawah citra setelah skala ulang dapat ditentukan langsung dengan angka atau dengan mengamati distribusi data.

3) Interpolasi nilai antar piksel

Jarak antar titik nilai setelah registrasi tidak sama yakni sekitar 50 km pada titik nadir, bahkan pada tepi citra sampai lebih dari 100 km. Interpolasi nilai antar antar piksel diperlukan untuk mengisi nilai piksel antar data teregistrasi terutama antar titik-titik yang berjauhan. Interpolasi yang digunakan pada penelitian ini adalah interpolasi RBF. Metode RBF adalah salah satu metode interpolasi yang umum digunakan pada data multidimensi. Beberapa aplikasi yang biasa menggunakan metode RBF antara lain meliputi kartografi, *neural networks*, pencitraan medis dan solusi numerik turunan persamaan parsial.

Metode interpolasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode RBF dengan algoritma sebagai berikut: (Uhlir & Skala, 2005).

- a. Memuat citra yang teregistrasi (Ω_c)
 $\Omega = \Omega_c + \Omega_d \dots \dots \dots (1)$

dengan:

- Ω = citra hasil interpolasi
- Ω_c = piksel teregistrasi
- Ω_d = piksel interpolasi

- b. Menentukan *window size*.
- c. Melakukan interpolasi pada *window size* dengan memperhatikan piksel-piksel tetangga sebagai berikut: Interpolasi adalah dengan mengisi piksel yang kosong atau tidak sesuai $x = \Omega_d$. Piksel x diperoleh dari rumus dibawah ini:

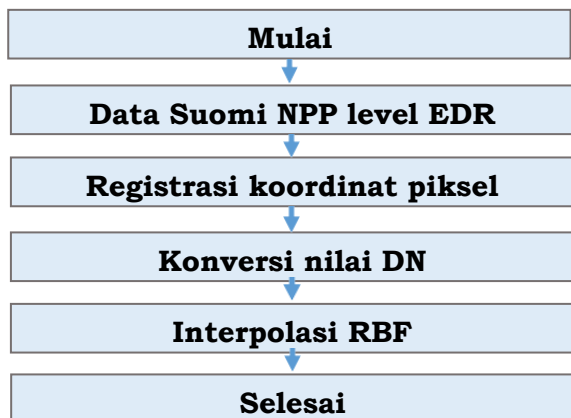
$$f(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(\|x - x_i\|) + p(x) \dots (2)$$

dengan x_i adalah semua piksel yang valid, $\|x - x_i\| = r_i$ adalah *Euclidean distance* dari piksel yang valid dengan piksel yang tidak sesuai. $P(x)$ adalah *polynomial*. $f(r)$ = adalah basis *function*-nya.

- d. Ulangi proses interpolasi pada setiap window pada keseluruhan citra.
- e. Semua piksel dalam citra berhasil direkonstruksi

Hasil dari interpolasi RBF akan dibandingkan dengan menggunakan data GOSAT dan data NUCAPS GLOBAL dari website NOAA. Produk CH4 yang dihasilkan dibandingkan dengan data dari satelit GOSAT milik Jepang yang diunduh pada dari website <https://data2.gosat.nies.go.jp/GosatDataArchiveService/usr/download/DownloadPage/view>. Data yang akan dibandingkan yaitu data *L2 Global CH4 distribution* pada bulan Februari 2017. Selain itu akan dibandingkan dengan produk dari NOAA produk CH4 dari NUCAPS dari website NOAA berikut: <ftp://ftp-npp.class.ngdc.noaa.gov/>. Data yang digunakan adalah data pada tanggal 27 Oktober 2017.

Gambar 2-2 merupakan diagram alir proses yang dilakukan untuk menghasilkan data informasi gas rumah kaca dengan format *geotiff* pada 1 tingkat tekanan yang dipermukaan. Proses tersebut dilakukan pada data lintasan satelit jika dilakukan pada beberapa data lintasan perlu dilakukan mosaik untuk menghasilkan data harian seluruh Indonesia.



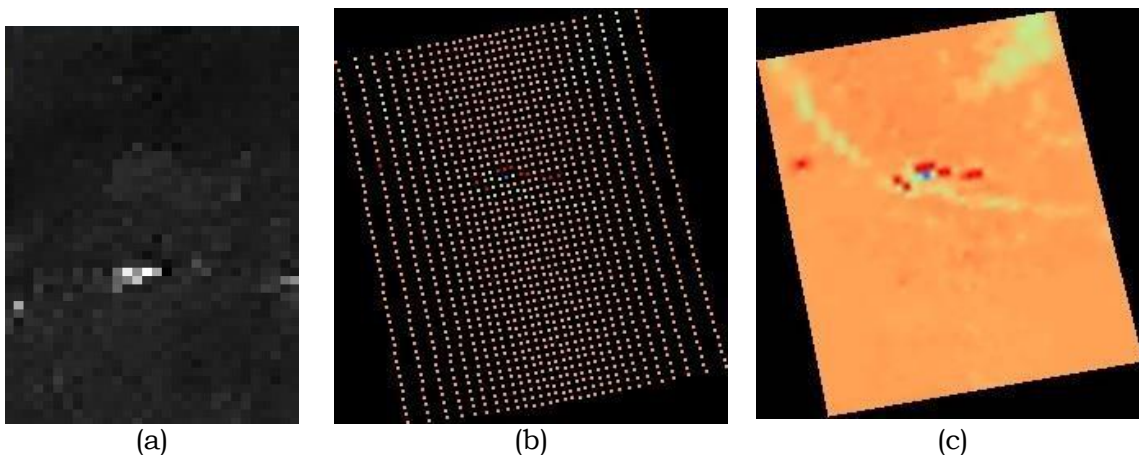
Gambar 2-2: Diagram Alir Proses Pengolahan Geolokasi.

3 HASIL PEMBAHASAN

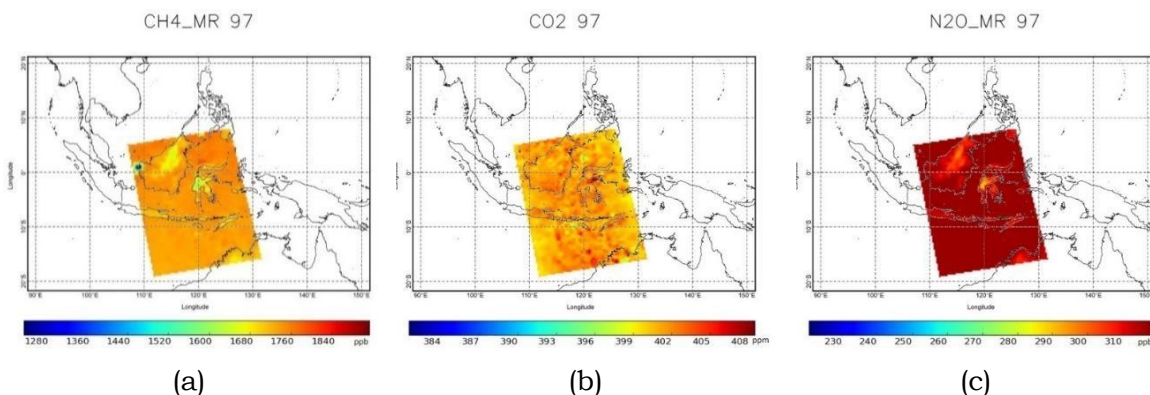
Modul pengolahan geolokasi untuk dapat menampilkan informasi gas rumah kaca secara spasial telah dibuat. Pengolahan geolokasi untuk menghasilkan produk data gas rumah kaca (GRK) spasial yang terdiri dari gas CH₄, CO₂ dan N₂O telah dilakukan secara sistematis. Gambar 3-1 menunjukkan hasil pengolahan geometrik produk data gas rumah kaca (GRK) dari satelit Suomi NPP ATMS dan CrIS dengan masukan data NUCAPS EDR format netcdf. Pada hasil ini ditampilkan data suhu pada tingkat ke-97 yakni tingkat pada daerah permukaan bumi. Data sudah dapat ditampilkan secara spasial dapat dilihat dengan cara dioverlay pada peta batas administrasi maupun peta-peta spasial lainnya.

Gambar 3-2 menunjukkan produk CH₄, CO₂ dan N₂O yang dihasilkan dari pengolahan ini pada tanggal 27 Oktober 2017 jam 05:29 UTC di tingkat permukaan.

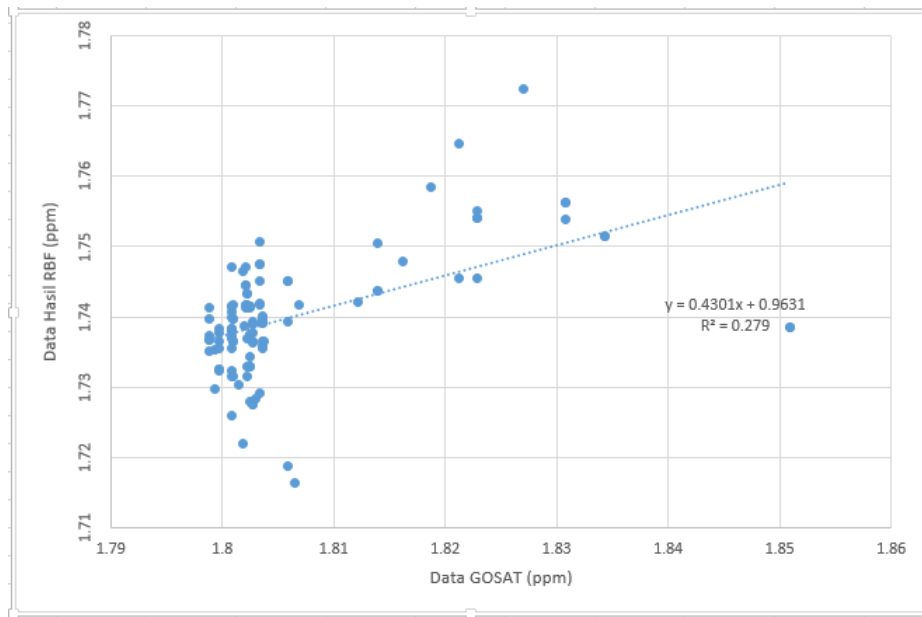
Hasil perbandingan antara data bulan Februari 2017 dari satelit GOSAT dengan data yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3-3. Data yang digunakan pada perbandingan ini merupakan konsentrasi CH₄. Gambar 3-3 menunjukkan bahwa data hasil interpolasi RBF memiliki korelasi dengan data dari GOSAT dengan persamaan sebagai berikut $y = 0.43x + 0.96$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 27,9% dan korelasi (r) 0,53. Hal ini menunjukkan bahwa data hasil interpolasi RBF hanya mampu mewakili 27,9% dari keseluruhan GOSAT dan memiliki korelasi yang cukup baik dengan data GOSAT. Hal ini perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam karena bisa saja diakibatkan data tersebut yang berasal dari sensor yang berbeda dengan yang digunakan pada penelitian ini.



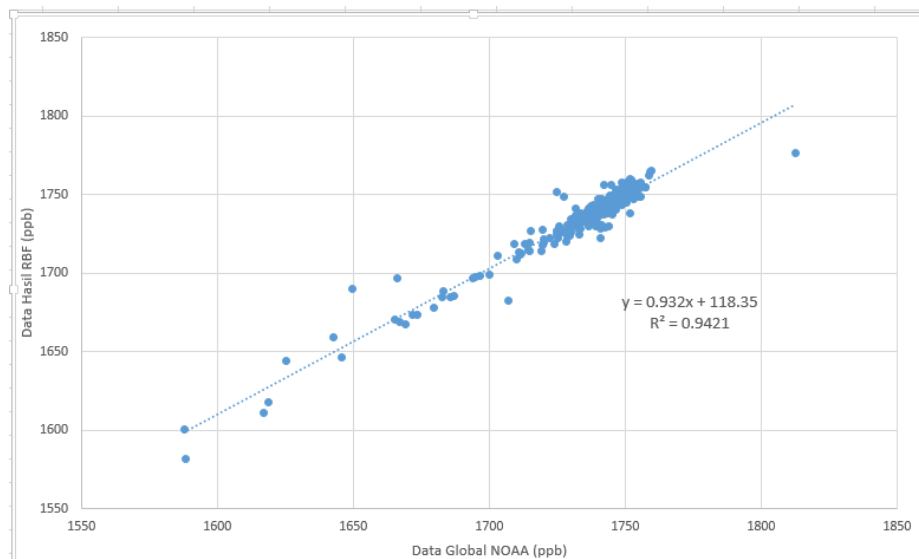
Gambar 3-1: Contoh hasil pengolahan geolokasi produk data CH₄ dari satelit Suomi NPP ATMS dan CrIS (a) Format netcdf CH₄, (b) citra CH₄ teregistrasi, (c) citra CH₄ setelah interpolasi.



Gambar 3-2: Produk terolah (a) CH₄, (b) CO₂ dan (c) N₂O dari data CrIS dan ATMS S-NPP pada tanggal 27 Oktober 2017 jam 05:29 UTC



Gambar 3-3: Grafik Hubungan antara data CH4 GOSAT dan data CH4 hasil RBF



Gambar 3-4: Grafik hubungan antara data CH4 global NOAA dan data CH4 hasil RBF

Hasil perbandingan dengan data dari NOAA dengan menggunakan perangkat lunak NUCAPS dan dari sensor yang sama ATMS dan CrIS dapat dilihat pada Gambar 3-4. Gambar 3-4 menunjukkan bahwa hubungan antara data CH4 dari global NOAA dengan hasil interpolasi RBF memiliki korelasi yaitu $= 0,93 + 118$ dengan koefisien determinasi (R^2) yaitu 0,94. Hal ini menunjukkan hasil korelasi yang baik antara kedua data dan membuktikan bahwa metode interpolasi RBF dapat digunakan untuk pengolahan geolokasi gas rumah kaca dan menghasilkan representasi spasial yang baik. Hasil korelasi tersebut sesuai dengan penelitian Wright (2003) bahwa metode

RBF memang baik untuk data lebih dari 1 dimensi.

4 KESIMPULAN

Modul pengolahan geolokasi telah dibangun dan dapat menghasilkan informasi gas rumah kaca (CH₄, CO₂, N₂O) secara spasial dengan resolusi 50 km. Metode interpolasi RBF terbukti dapat diterapkan secara efektif dalam modul pengolahan geolokasi data CrIS dan ATMS. Resolusi spasial yang dihasilkan dengan metode ini lebih akurat dibandingkan dengan produk global NUCAPS yang beresolusi 0,5 derajat x 2 derajat. Interpolasi RBF dapat mengisi nilai piksel antar data

teregistrasi secara spasial. Metode interpolasi RBF ini cocok digunakan untuk interpolasi antar piksel dalam produk gas rumah kaca, karena memiliki hasil korelasi yang baik jika dibandingkan dengan data global NOAA. Perbandingan dengan data GOSAT menunjukkan bahwa perlu ada kajian lebih dalam tentang perbandingan sensor yang digunakan GOSAT dengan ATMS dan CrIS.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan penelitian ini merupakan bagian dari program litbangyasa yang didanai dan difasilitasi oleh Pustekdata LAPAN pada tahun anggaran 2017. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Erna Sri Adiningsih atas semua bimbingan dan bantuannya dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Aiger, D., Kokiopoulou, E., & Rivlin, E., (2013). *Random Grids: Fast Approximate Nearest Neighbors and Range Searching for Image Search*. In ICCV Conference. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2013.431>
- Beirle, S., Uhl, S., Pu⁻, J., & Wagner, T., (2010). *Retrieval of tropospheric column densities of NO₂ from combined SCIAMACHY nadir/limb measurements*. *Atmos. Meas. Tech*, 3, 283–299. Retrieved from www.atmos-meas-tech.net/3/283/2010/
- Boersma, K. F., Eskes, H. J., & Brinksma, E. J., (2004). *Error analysis for tropospheric NO₂ retrieval from space*. *Journal of Geophysical Research*, 109(D4), D04311. <https://doi.org/10.1029/2003JD003962>
- Chahine, M. T., Pagano, T. S., Aumann, H. H., Atlas, R., Barnett, C., Blaisdell, J., & Zhou, L., (2006). *Improving weather forecasting and providing new data on greenhouse gases*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(7), 911–926. <https://doi.org/10.1175/BAMS-87-7-911>
- Chung, E. S., & Soden, B. J., (2010). *Investigating the influence of carbon dioxide and the stratosphere on the long-term tropospheric temperature monitoring from HIRS*. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(9), 1927–1937. <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2486.1>
- Funke, B., López-Puertas, M., Bermejo-Pantaleón, D., von Clarmann, T., Stiller, G. P., Höpfner, M., & Kaufmann, M., (2007). *Analysis of nonlocal thermodynamic equilibrium CO 4.7 μm fundamental, isotopic, and hot band emissions measured by the Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding on Envisat*. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(11), 1–11. <https://doi.org/10.1029/2006JD007933>
- Han, Y., Revercomb, H., Cromp, M., Gu, D., Johnson, D., Mooney, D., & Zavyalov, V., (2013). *Suomi NPP CrIS measurements, sensor data record algorithm, calibration and validation activities, and record data quality*. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 118(22), 12734–12748. <https://doi.org/10.1002/2013JD020344>
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Tadić P.M.P., & Pebesma, E.J., (2012). *Spatio-temporal Prediction of Daily Temperatures Using Time-series of MODIS LST Images*. Vol 107: p265–277. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0464-2>
- Indradjad, A., & Salyasari, N., (2016). *Pengolahan Data Atmosfer Level SDR dari Sensor ATMS dan CrIS Pada Satelit S-NPP*. In Prosiding SNSA 2016 (pp. 20–26).
Indradjad, A., & Salyasari, N., (2017). *Sistem Informasi Gas Rumah Kaca dari Data ATMS dan CrIS S-NPP Berbasis Google Earth*. In Prosiding SNSA 2017.
- Livesey, N.J., Filipiak, M.J., Froidevaux, L., Read, W.G., Lambert, A., Santee, M.L., & Webster, C.R., (2008). *Validation of Aura Microwave Limb Sounder O₃ and CO observations in the upper troposphere and lower stratosphere*. *Journal of Geophysical Research*, 113(D15), D15S02.

- <https://doi.org/10.1029/2007JD008805>
- Montzka, S.A., Dlugokencky, E. J., & Butler, J.H., (2011). *Non-CO2 greenhouse gases and climate change*. *Nature*, 476(7358), 43–50. <https://doi.org/10.1038/nature10322>
- NOAA, NESDIS, OSPO & ESPC., (2015). *The NOAA Unique CrIS/ATMS Product System External Users Manual Version 4.1: NOAA NESDIS CENTER for SATELLITE APPLICATIONS and RESEARCH*. NOAA. (2017). *NUCAPS Sounding Products: SNPP Global Gridded 0.5 deg lat x 2 deg lon Images*, diunduh 18 Mei 2017 dari http://www.ospo.noaa.gov/Products/atmosphere/soundings/nucaps/NUCAPS_gridded.html
- Prata, A.J., & Bernardo, C., (2007). *Retrieval of volcanic SO2 column abundance from Atmospheric Infrared Sounder data*. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(20), 1–17. <https://doi.org/10.1029/2006JD007955>
- Strow, L.L., & Hannon, S.E., (2008). *A 4-year zonal climatology of lower tropospheric CO₂ derived from ocean-only Atmospheric Infrared Sounder observations*. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 113(18), 1–20. <https://doi.org/10.1029/2007JD009713>
- Thies, B., & Bendix, J., (2011). *Satellite based remote sensing of weather and climate: Recent achievements and future perspectives*. *Meteorological Applications*, 18(3), 262–295. <https://doi.org/10.1002/met.288>
- Uhlir, K., & Skala, V., (2005). *Reconstruction of damaged images using radial basis functions*. *Proc. 13th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Antalya, Turkey, pp. 160–163
- Weng, F., Zou, X., Wang, X., Yang, S., & Goldberg, M. D., (2012). *Introduction to Suomi national polar-orbiting partnership advanced technology microwave sounder for numerical weather prediction and tropical cyclone applications*. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 117(19), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2012JD018144>
- Wright, G.B. (2003). *Radial Basis Function Interpolation: Numerical and Analytical Developments*. (Doctor of Philosophy Department of Applied Mathematics Thesis), University of Colorado, Colorado.
- Yoshida, Y., Ota, Y., Eguchi, N., Kikuchi, N., Nobuta, K., Tran, H., & Yokota, T., (2011). *Retrieval algorithm for CO₂ and CH₄ column abundances from short-wavelength infrared spectral observations by the Greenhouse gases observing satellite*. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(4), 717–734. <https://doi.org/10.5194/amt-4-717-2011>