

SISTEM PENGOLAHAN DATA SATELIT SUOMI NPP UNTUK PRODUKSI CITRA *TRUE COLOR*

Budhi Gustiandi, Andy Indradjad

Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. LAPAN No. 70 Kelurahan Pekayon Kecamatan Pasar Rebo, Jakarta Timur, 13710

Telp : (021) 8710786, Fax : (021) 8717715

E-mail : budhi.gustiandi@lapan.go.id

Abstract

A Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP) remote sensing satellite data processing system has been built and developed to produce true color imagery. System performance was assessed using empirical method. Sampling and event tracing were used as approach techniques. Longest processing time of developed system to produce true color imagery from acquisition time as 1 hour 30 minutes 46 seconds. The system has near real time behaviour because the longest processing time still faster than fastest time of two subsequent Suomi NPP satellite acquisition in one day as 1 hour 35 minutes. Storage system capacity requirement estimation to accommodate data from rawdata level to true color imagery until the predicted mission life of Suomi NPP satellite is 30,75 TB. Hence, the storage system capacity that has been available as 15 TB must have to be increased.

Kata kunci: *true color imagery; Suomi NPP; polar2grid; empirical method.*

Abstrak

Sebuah sistem pengolahan data penginderaan jauh satelit Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP) telah dibangun dan dikembangkan untuk menghasilkan citra true color. Metode empiris digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem. Pengambilan sampel dan pelacakan kejadian digunakan sebagai teknik-teknik pendekatannya. Waktu pengolahan terlama dari sistem yang dikembangkan untuk menghasilkan citra true color dari mulai akuisisi adalah selama 1 jam 30 menit 46 detik. Sistem memiliki perilaku near real time karena waktu pengolahan terlama tersebut masih lebih cepat daripada selang waktu tercepat akuisisi dua data satelit Suomi NPP yang berurutan, yaitu selama 1 jam 35 menit. Perkiraan kebutuhan kapasitas sistem penyimpanan untuk mengakomodasi data dari level rawdata sampai citra true color sampai umur misi satelit yang diperkirakan adalah sebesar 30,75 TB. Sehingga, kapasitas sistem penyimpanan yang sudah tersedia sebesar 15 TB harus ditingkatkan lagi.

Kata kunci: *citra true color; Suomi NPP; polar2grid; metode empiris.*

1. PENDAHULUAN

Stasiun bumi penginderaan jauh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah menerima data satelit Suomi National Polar-orbiting Partnership (NPP) sejak bulan Mei 2012. Sistem akuisisi menerima data satelit Suomi NPP dalam mode *direct broadcast*, yaitu penerimaan sinyal data secara langsung dari satelit tanpa menggunakan perantara sistem lain (misal pengunduhan data melalui jaringan komunikasi dari stasiun bumi lain). Sinyal data yang diterima diolah oleh komputer server akuisisi menjadi data dalam level *rawdata*. Data kemudian dikirim dari stasiun bumi yang terletak di kota Parepare, Sulawesi Selatan ke *data center* Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh (Pustekdata) LAPAN yang terletak di kota Jakarta melalui jaringan komunikasi *Virtual Private Network* (VPN).

Sebuah sistem pengolahan telah dibangun dan terus dikembangkan untuk menghasilkan data satelit Suomi NPP dalam level-level yang lebih tinggi lagi sehingga data tersebut lebih siap pakai bagi para penggunanya. Urutan level-level data satelit Suomi NPP dari level terkecil sampai level terbesar adalah *rawdata*, *Raw Data Record* (RDR), *Sensor Data Record* (SDR) / *Temperature Data Record* (TDR), *Application Related Product* (ARP) / *Environmental Data Record* (EDR), dan *Climate Data Record* (CDR) [1]. Pengolahan data satelit Suomi NPP sampai menghasilkan data dalam level RDR dan SDR telah dilakukan pada kegiatan sebelumnya [2, 3].

Data satelit Suomi NPP dalam level SDR dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan citra *true color* [4]. Namun, data tersebut harus diolah dulu menjadi produk *corrected reflectance*. Sehingga pada kegiatan sebelumnya juga

sistem telah dikembangkan untuk menghasilkan produk *corrected reflectance* dari data satelit Suomi NPP dalam level SDR [5].

Citra *true color* adalah citra yang dihasilkan dari kombinasi citra-citra dengan panjang gelombang merah, hijau, dan biru (*Red, Green, Blue / RGB*) yang memiliki tampilan mirip dengan apa yang dilihat oleh mata manusia. Tampilan tersebut memiliki keunggulan dalam hal penggambaran fitur-fitur daratan, lautan, dan atmosfer secara alami. Namun, karena panjang-panjang gelombang yang membentuk citra *true color* adalah panjang gelombang cahaya tampak, maka pemanfaatan citra tersebut hanya dapat dilakukan untuk data yang diakuisisi pada siang hari. Selain untuk memberikan informasi realisme secara visual [6], banyak sekali informasi yang dapat dihasilkan dengan memanfaatkan citra *true color* hasil pengolahan data satelit penginderaan jauh.

Citra *true color* hasil pengolahan instrumen Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) satelit Aqua telah dimanfaatkan untuk memetakan bentuk-bentuk perairan di daerah-daerah pertemuan sungai dan laut (muara) dimana warnanya terlihat lebih gelap dibandingkan dengan warna laut yang diakibatkan sedimen-sedimen yang dialirkan dari sungai menuju ke laut [7]. Pada umumnya citra yang digunakan berupa citra komposit dengan rentang mingguan untuk meminimalkan daerah yang tertutup awan tebal dan intensitas kilau cahaya matahari. Variasi warna dari citra *true color* dapat menggambarkan kualitas perairan dalam kaitannya dengan pengukuran biomassa fitoplankton [8]. Peningkatan secara spektral (dari kombinasi RGB menjadi *Hue Saturation Intensity / HIS*) dilakukan terlebih dahulu untuk memperoleh variasi warna tersebut. Beberapa metode pengukuran luasan dari daerah-daerah muara dengan menggunakan citra *true color* telah tersedia secara komprehensif [7, 9-13].

Pemantauan karbon hutan telah dilakukan dengan memanfaatkan citra *true color* dan infra merah bersama-sama dengan data *Airborne Laser Scanning (ALS)* [14]. Citra *true color* memiliki peran yang sangat besar dalam penentuan batas antara kawasan hutan dan non hutan.

Pengembangan kali ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan pengolahan dari sistem yang telah ada sehingga dapat menghasilkan citra *true color* dari data satelit Suomi NPP. Selain itu, evaluasi kinerja dilakukan untuk mengetahui potensi sistem untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi sebuah sistem yang bersifat *near real time* melalui evaluasi waktu pengolahan sistem dan untuk mengetahui kebutuhan sistem penyimpanan yang dapat mengakomodasi sampai perkiraan umur misi satelit Suomi NPP berakhir melalui evaluasi volume berkas keluaran sistem.

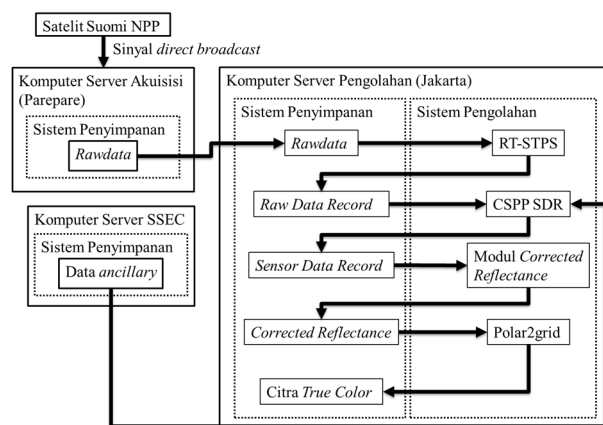
2. DESKRIPSI SISTEM DAN METODE EVALUASI

2.1 Deskripsi Sistem

Arsitektur dari sebuah sistem atau perangkat lunak pada umumnya digambarkan dalam bentuk diagram alir. Penggambaran tersebut bertujuan untuk menjelaskan domain komputasi (komponen-komponen atau sub sistem) dan domain komunikasi (konektor-konektor) yang menyusun sebuah sistem atau perangkat lunak secara menyeluruh [15]. Arsitektur sistem pengolahan data satelit Suomi NPP yang dikembangkan untuk menghasilkan citra *true color* diperlihatkan pada Gambar 1.

Perangkat-perangkat keras yang digunakan adalah sebagai berikut: seperangkat komputer server dengan spesifikasi memiliki prosesor 24 *core* (berkecepatan 2,4 GHz per *core*) dan memori 64 GB; sistem penyimpanan berkapasitas 15 TB; *Virtual Private Network (VPN)* sebagai jaringan komunikasi yang menghubungkan sistem akuisisi dan sistem pengolahan sebesar 20 MBPS; dan internet sebagai jaringan komunikasi yang menghubungkan komputer server Space Science and Engineering Center (SSEC) dan sistem pengolahan untuk keperluan transfer data *ancillary* yang dibutuhkan dalam proses pengolahan sebesar 40 MBPS (*shared*). Linux CentOS versi 6.3 (<http://www.centos.org>) digunakan sebagai sistem operasi.

Perangkat-perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut: Real-Time Software Telemetry Processing System (RT-STPS) versi 5.3 (<http://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov>) untuk mengolah data satelit Suomi NPP dari level *rawdata* ke level RDR; Community Satellite Processing Package (CSPP) Science Data Record (SDR) versi 1.5 (<http://cimss.ssec.wisc.edu>) untuk mengolah data satelit Suomi NPP dari level RDR ke level SDR; modul *corrected reflectance* [16] untuk mengolah data satelit Suomi NPP dari level SDR menjadi produk *corrected reflectance*; dan CSPP VIIRS Reprojection Polar2grid versi 1.1 (<http://cimss.ssec.wisc.edu>) untuk mengolah produk *corrected reflectance* menjadi citra *true color*. Sistem operasi dan perangkat-perangkat lunak yang digunakan adalah berbasis *open source*, sehingga implementasi sistem pada komputer-komputer server pengolahan lain tidak akan terkendala oleh lisensi.



Gambar 1. Arsitektur sistem pengolahan data satelit Suomi NPP yang dikembangkan untuk menghasilkan citra true color.

Script pengolahan dibuat dengan menggunakan bahasa *bash shell*. Penggunaan bahasa tersebut didasari pertimbangan bahwa bahasa *bash shell* merupakan bahasa *scripting* yang paling komprehensif untuk digunakan di dalam lingkungan pemrograman berbasis sistem operasi Linux [17]. Pertimbangan lainnya adalah bahwa sebagian besar modul pengolahan yang membentuk sistem dibangun juga dengan menggunakan bahasa *bash shell*.

Berkas-berkas *corrected reflectance* (CREFL*) dan berkas-berkas *Terrain Corrected Geolocation* (GITCO* dan GMTCO*) dibutuhkan sebagai masukan oleh Polar2grid untuk menghasilkan citra *true color* 24 bit dalam format geoTIFF (.tif). Polar2grid mengkombinasikan data pita tunggal CREFL* dengan panjang gelombang merah (pita-M ke-5), hijau (pita-M ke-4), dan biru (pita-M ke-3) menjadi satu citra *true color*. Apabila data pita-I ke-1 juga tersedia dalam kumpulan berkas-berkas CREFL* yang digunakan, data tersebut akan digunakan untuk menajamkan citra secara spasial. Apabila ditemukan lebih dari satu *granule* untuk pita yang diberikan, polar2grid akan menggabungkan citra-citra yang dihasilkan selama waktunya berurutan.

2.2 Metode Evaluasi

Sebuah model yang dapat digunakan untuk menilai kualitas sistem yang dikembangkan adalah standard ISO/IEC 9126 tentang kualitas produk perangkat lunak, yang terdiri dari dua bagian yaitu aspek atribut-atribut kualitas (kualitas internal dan kualitas eksternal) dan aspek kualitas dalam penggunaan [18]. Penjelasan, metode pengukuran, dan analisis masing-masing aspek kualitas berbeda satu dengan lainnya. Enam kategori beserta karakteristik untuk kualitas internal dan eksternal dijelaskan pada bagian pertama model tersebut. Kenam kategori tersebut adalah kinerja/fungsi (*performance*), kehandalan (*reliability*), kegunaan (*useability*), efisiensi (*efficiency*), portabilitas (*portability*) / interoperabilitas (*interoperability*), dan keterawatan (*maintainability*). Konteks internal atau eksternal dari keenam kategori tersebut ditentukan dari cara pengukurannya. Apabila pengukuran dilakukan tanpa tergantung pada eksekusi perangkat lunak (pengukuran-pengukuran statis), maka atribut kualitas yang diukur tersebut masuk ke dalam kategori internal. Sedangkan apabila pengukuran dilakukan pada saat perangkat lunak berjalan pada sebuah sistem berbasis komputer, maka atribut kualitas yang diukur tersebut masuk ke dalam kategori kualitas eksternal.

Empat karakteristik kualitas dalam penggunaan dijelaskan pada bagian kedua model tersebut. Keempat karakteristik tersebut adalah keefektifan (*effectivity*), produktifitas (*productivity*), keamanan (*security*), dan kepuasan (*satisfy*). Kualitas dalam penggunaan dipengaruhi kombinasi dari keenam karakteristik atribut kualitas internal dan eksternal. Pengukuran kualitas dalam penggunaan adalah berdasarkan pengaruh-pengaruh yang ditimbulkan sebagai penggunaan perangkat lunak dalam konteks penggunaan tertentu. Pengukuran tersebut hanya dapat dilakukan pada saat produk akhir digunakan dalam kondisi-kondisi sebenarnya.

Atribut-atribut kualitas yang paling penting dari seluruh atribut kualitas tersebut adalah kinerja, interoperabilitas, dan keterawatan [19]. Ketiga atribut kualitas tersebut harus dipenuhi untuk menghasilkan sebuah sistem yang bermanfaat. Atribut kualitas yang menjadi fokus utama dalam evaluasi kualitas sistem pengolahan data satelit Suomi NPP untuk menghasilkan citra *true color* hanya kinerja. Kinerja adalah atribut kualitas yang memperlihatkan derajat pemenuhan tujuan yang ingin dicapai dari sistem atau komponen-komponennya secara aktual [20]. Atribut-atribut kualitas lain sama pentingnya tetapi pengukuran secara komprehensif akan seluruh atribut kualitas tidak dijelaskan lebih lanjut dalam makalah ini.

Evaluasi kinerja dari sebuah sistem dapat dilakukan dengan menggunakan salah satu metode atau teknik dari tiga jenis metode atau teknik yang ada, yaitu metode empiris, teknik simulasi, dan pemodelan analisis [21]. Metode empiris merupakan metode evaluasi kinerja melalui kegiatan-kegiatan pengukuran atau perhitungan metrik.

Teknik evaluasi kinerja yang menggunakan tiruan dari sebuah eksekusi program disebut teknik simulasi. Evaluasi kinerja yang menggunakan penjelasan sebuah sistem secara matematis disebut pemodelan analisis. Dari ketiga metode atau teknik tersebut, metode empiris memberikan hasil-hasil yang paling akurat karena tidak menggunakan asumsi-asumsi sebanyak metode atau teknik lainnya. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan akan dievaluasi kinerjanya dengan menggunakan metode empiris.

Terdapat 2 (dua) pendekatan untuk melaksanakan evaluasi dengan menggunakan metode empiris, yaitu melalui pengambilan sampel dan pelacakan kejadian (*event tracing*). Apabila evaluasi dilakukan dengan mengambil sampel dari bagian-bagian sebuah sistem (misal keluarannya) ketika sistem tersebut telah berjalan selama beberapa selang waktu, maka pendekatan yang digunakan adalah pengambilan sampel. Pendekatan ini memiliki keunggulan dalam hal evaluasi dapat dilakukan tanpa harus menghentikan sistem yang sedang berjalan. Sedangkan apabila evaluasi dilakukan dengan menyisipkan kode ke dalam program yang menyusun sistem untuk mengevaluasi kinerjanya, maka pendekatan yang digunakan adalah pelacakan kejadian. Pendekatan ini hanya dapat dilakukan dengan menghentikan program yang sedang berjalan. Selain itu, pendekatan dengan menggunakan pelacakan kejadian akan membutuhkan sumberdaya sistem yang lebih besar (misal memori) dibandingkan dengan pendekatan pengambilan sampel [21].

Evaluasi kinerja untuk mengetahui waktu pengolahan yang dibutuhkan oleh sistem untuk menghasilkan citra *true color* dilakukan dengan menggunakan pendekatan pelacakan kejadian. Sedangkan evaluasi kinerja untuk mengetahui volume berkas citra *true color* yang dihasilkan dari pengolahan sistem dilakukan dengan menggunakan pendekatan pengambilan sampel.

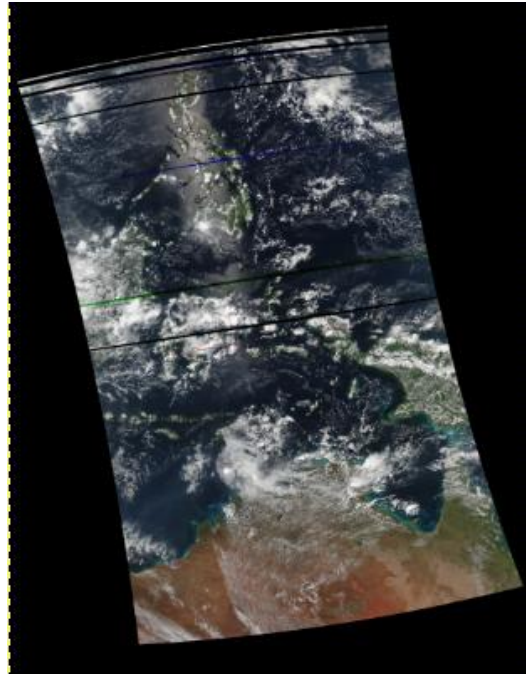
Sampel data yang diambil di dalam pelaksanaan evaluasi adalah berkas log pengolahan data yang dihasilkan pada saat melakukan proses pengolahan dan citra-citra *true color* yang tersedia di dalam direktori penyimpanan. Jumlah sampel data yang digunakan di dalam evaluasi adalah 324 *rawdata* beserta produk-produk hasil pengolahannya (level RDR, level SDR, produk *corrected reflectance*, dan citra *true color*) dengan rentang waktu akuisisi dari tanggal 1 Januari 2014 sampai tanggal 28 April 2014.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra-citra *true color* yang dihasilkan sebagai keluaran dari sistem pengolahan memiliki format penamaan berkas `npp_viirs_true_color_crefl_None_YYYYMMDD_HHMMSS_wgs84_fit.tif`. Huruf-huruf yang dicetak tebal pada format penamaan tersebut memberikan informasi mengenai waktu akuisisi data satelit Suomi NPP yang diolah. Deretan huruf “YYYY” memberikan informasi mengenai tahun akuisisi, deretan huruf “MM” memberikan informasi mengenai bulan akuisisi, deretan huruf “DD” memberikan informasi mengenai tanggal akuisisi, deretan huruf “HH” memberikan informasi mengenai jam akuisisi (dalam UTC), deretan huruf “MM” memberikan informasi mengenai menit akuisisi, dan deretan huruf “SS” memberikan informasi mengenai detik akuisisi. Sebagai contoh, apabila data satelit Suomi NPP yang diolah diakuisisi pada tanggal 28 April 2014 jam 06:34:45 UTC, maka citra *true color* yang dihasilkan akan memiliki nama berkas `npp_viirs_true_color_crefl_None_20140428_063445_wgs84_fit.tif`. Tampilan dari citra *true color* tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.

Evaluasi waktu pengolahan data penginderaan jauh satelit Suomi NPP untuk menghasilkan citra *true color* dari produk-produk *corrected reflectance* hanya dilakukan pada sampel-sampel data yang berhasil terolah menjadi citra *true color* sejumlah 261 data. Waktu tercepat yang dibutuhkan adalah 22 detik sedangkan waktu terlama yang dibutuhkan adalah 17 menit 47 detik. Waktu rata-rata yang dibutuhkan adalah 2 menit 18 detik. Waktu terlama pengolahan data penginderaan jauh satelit Suomi NPP dari mulai akuisisi sampai dihasilkannya citra *true color* adalah 1 jam 30 menit 46 detik. Selang waktu tercepat akuisisi dua data penginderaan jauh satelit Suomi NPP yang berurutan adalah 1 jam 35 menit. Berdasarkan evaluasi tersebut, sistem sudah bersifat *near real time*, karena citra *true color* dapat dihasilkan sebelum akuisisi data penginderaan jauh satelit Suomi NPP berikutnya.

Perangkat-perangkat keras yang digunakan di dalam sistem yang dikembangkan telah memenuhi spesifikasi minimum sebagaimana yang dipersyaratkan pada dokumen teknis instruksi instalasi perangkat lunak CSPP VIIRS Reprojection Polar2grid Software [4]. Namun, dengan bertambahnya jenis produk yang dihasilkan oleh sistem pengolahan – dalam hal ini citra *true color* – maka perangkat keras yang menjadi perhatian utama adalah sistem penyimpanan. Volume citra *true color* terkecil adalah sebesar 22,74 MB dan volume citra *true color* terbesar adalah sebesar 220,25 MB. Volume rata-rata citra *true color* adalah sebesar 134,01 MB. Umur satelit Suomi NPP diperkirakan sampai 5 tahun dan dalam 1 hari dilakukan 4 kali akuisisi. Kebutuhan sistem penyimpanan citra *true color* sampai perkiraan umur satelit Suomi NPP berakhir adalah sebesar 955,36 GB.



Gambar 2. Tampilan citra true color hasil pengolahan data satelit Suomi NPP dengan tanggal akuisisi 28 April 2014 dan waktu akuisisi jam 06:34:45 UTC.

Untuk perkiraan waktu yang sama, kebutuhan sistem penyimpanan data penginderaan jauh satelit Suomi NPP dalam level *rawdata* adalah sebesar 3,45 TB [2], level RDR sebesar 1,89 TB [22], level SDR sebesar 22,29 TB [3], dan produk *corrected reflectance* sebesar 2,19 TB [5]. Sehingga, total kapasitas sistem penyimpanan yang dibutuhkan adalah sebesar 30,75 TB. Kapasitas sistem penyimpanan yang tersedia pada saat ini sebesar 15 TB masih harus ditingkatkan untuk mengakomodir kebutuhan tersebut.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Sistem pengolahan data penginderaan jauh satelit Suomi NPP telah berhasil dikembangkan sehingga dapat menghasilkan citra *true color* secara *near real time* dengan waktu pengolahan paling lama dari mulai akuisisi hingga dihasilkannya citra *true color* adalah selama 1 jam 30 menit 46 detik.

4.2 Saran

Kapasitas sistem penyimpanan yang tersedia pada saat ini sebesar 15 TB harus ditingkatkan untuk mengakomodasi kebutuhan penyimpanan sebesar 30,75 TB sampai perkiraan umur misi satelit Suomi NPP berakhir.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] Goddard Space Flight Center (GSFC), 2012. *Joint Polar Satellite System (JPSS) Common Data Format Control Book – External Volume I - Overview*. [pdf] Greenbelt: GSFC. Tersedia di: <http://npp.gsfc.nasa.gov/sciencedocuments/2014-02/474-00001-01_JPSS-CDFCB-X-Vol-I_0123D.pdf> [Diakses terakhir tanggal 29 April 2014]
- [2] Gustiandi, B., Indradjad, A. dan Bagdja, I.W., 2013. Rancang bangun sistem pengolahan data satelit Suomi National Polar-orbiting Partnership (S-NPP) dari rawdata ke Raw Data Record (RDR). *Inderaja*, 6 (6), pp. 10-14.
- [3] Gustiandi, B. dan Indradjad, A., 2013. Sistem pengolahan data satelit S-NPP berbasis CSPP: RDR ke SDR. Dalam: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro (SNETE) 2013, Sinergisitas Perkembangan Penelitian di Bidang Teknik Elektro dan Peningkatan Produktivitas Industri Dalam Mengisi Pembangunan Nasional*. Banda Aceh, Indonesia, 26 Agustus 2013. Universitas Syiah Kuala: Banda Aceh.
- [4] Space Science and Engineering Center (SSEC), 2013. *Installation instructions for the Community Satellite Processing Package (CSPP) / International MODIS/AIRS Processing Package (IMAPP) VIIRS and MODIS reprojection polar2grid software*. [pdf] Madison: University of Wisconsin. Tersedia di:

- <ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/CSPP/hidden/NPP/UTIL/polar2grid/v1.1/CSPP_IMAPP_Polar2Grid_Installati on_Guide_v1.1.pdf> [Diakses terakhir tanggal 29 April 2014]
- [5] Gustiandi, B., Indradjad, A. dan Bagdja, I.W., 2014. Sistem pengolahan data penginderaan jauh satelit Suomi NPP untuk produksi corrected reflectance. Dalam: LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional), *Seminar Nasional Penginderaan Jauh (SINAS INDERAJA) 2014, Membangun Kemandirian Teknologi Penginderaan Jauh dan Pemanfaatannya*. Bogor, Indonesia, 22 April 2014. LAPAN: Jakarta.
 - [6] Premože, S., Thomson, W.B. and Shirley, P., 1999. Geospecific rendering of alpine terrain. In: Lischinski et al., eds. 1999. *Rendering Techniques*. Wien: Springer-Verlag.
 - [7] Álvarez-Romero, J.G., Devlin, M.J., Teixeira da Silva, E., Petus, C., Ban, N., Pressey, R.J., Kool, J., Roberts, S., Cerdeira, W.A. and Brodie, J., 2013. A novel approach to model exposure of coastal-marine ecosystems to riverine flood plumes based on remote sensing techniques. *Journal of Environmental Management*, 119, pp. 194-207.
 - [8] Devlin, M.J., Teixeira da Silva, E., Petus, C., Wenger, A., Zeh, D., Tracey, D., Álvarez-Romero, J.G. and Brodie, J., 2013. Combining in-situ water quality and remotely sensed data across spatial and temporal scales to measure variability in wet season chlorophyll-a: Great Barrier Reef lagoon (Queensland, Australia). *Ecological Processes*, 2, p. 31.
 - [9] Brodie, J.E., Schroeder, T., Rohde, K., Faithful, J., Masters, B., Dekker, A. and Maughan, M., 2010. Dispersal of suspended sediments and nutrients in the Great Barrier Reef lagoon during river-discharge events: conclusions from satellite remote sensing and concurrent flood-plume sampling. *Marine and Freshwater Research*, 61 (6), pp. 651-664.
 - [10] Bainbridge, Z., Wolanski, E., Álvarez-Romero, J.G., Lewis, S. and Brodie, J., 2012. Fine sediment and nutrient dynamics related to particle size and floc formation in a Burdekin River flood plume, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 65, pp. 236-248.
 - [11] Devlin, M.J., McKinna, L.W., Álvarez-Romero, J.G., Petus, C., Abbott, B., Harkness, P. and J. Brodie, J., 2012. Mapping the pollutants in surface riverine flood plume water in the Great Barrier Reef Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 65, pp. 224-235.
 - [12] Devlin, M.J., Schoeder, T., McKinna, L., Brodie, J., Brando, V. and Dekker, A., 2012. Monitoring and mapping of flood plumes in the Great Barrier Reef based on in situ and remote sensing observations. In: N. Chang, ed. 2012. *Environmental Remote Sensing and System Analysis*. Boca Raton: CRC Press. Ch. 8.
 - [13] Schroeder, T., Devlin, M.J., Brando, V.E., Dekker, A.G., Brodie, J., Clementson, L. and McKinna, L., 2012. Inter-annual variability of wet season freshwater plume extent into the Great Barrier Reef lagoon based on satellite coastal ocean color observations. *Marine Pollution Bulletin*, 65, pp. 210-223.
 - [14] Golinkoff, J., Hanus, M. and Carah, J., 2011. The use of airborne laser scanning to develop a pixel-based stratification for a verified carbon offset project. *Carbon Balance and Management*, 6, p. 9.
 - [15] Bass, L., Clements, P. and Kazman, R., 2003. *Software Architecture in Practice*. 3rd ed. Boston: Addison-Wesley.
 - [16] Gumley, L., 2013. *VIIRS corrected reflectance tutorial*. [online] (Diperbaharui terakhir tanggal 4 April 2013). Tersedia di: <https://forums.ssec.wisc.edu/viewtopic.php?f=42&t=304>. [Diakses terakhir tanggal 29 April 2014].
 - [17] Michael, R.K., 2008. *Mastering UNIX® Shell Scripting*. 2nd ed. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
 - [18] International Standards Office (ISO), 2001. *ISO 9126 Software Engineering – Product Quality – Part 1: Quality Model*. Geneva: ISO.
 - [19] Pahl, C., Bošković, M., Barrett, R. and Hasselbring, W., 2009. Quality-aware model-driven service engineering. In: J. Rech and C. Bunse, eds. 2009. *Model-Driven Software Development: Integrating Quality Assurance*. New York: Information Science Reference. Ch. 16.
 - [20] Snodgrass, R., 1987. The temporal query language Tquel. *ACM Transactions on Database System (TODS)*, 12 (2), pp. 247-298
 - [21] Lilja, D.J., 2000. *Measuring Computer Performance: A Practitioner's Guide*. Cambridge: Cambridge University Press.
 - [22] Indradjad, A., Gustiandi, B. and Bagdja, I.W., 2013. Automatic S-NPP satellite data processing system: rawdata to RDR. Dalam: Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Mercu Buana, *Seminar Nasional Pengaplikasi Telematika (SINAPTIKA) 2013, Green Computing for Sustainability*. Jakarta, Indonesia, 21 September 2013. Universitas Mercu Buana: Jakarta.