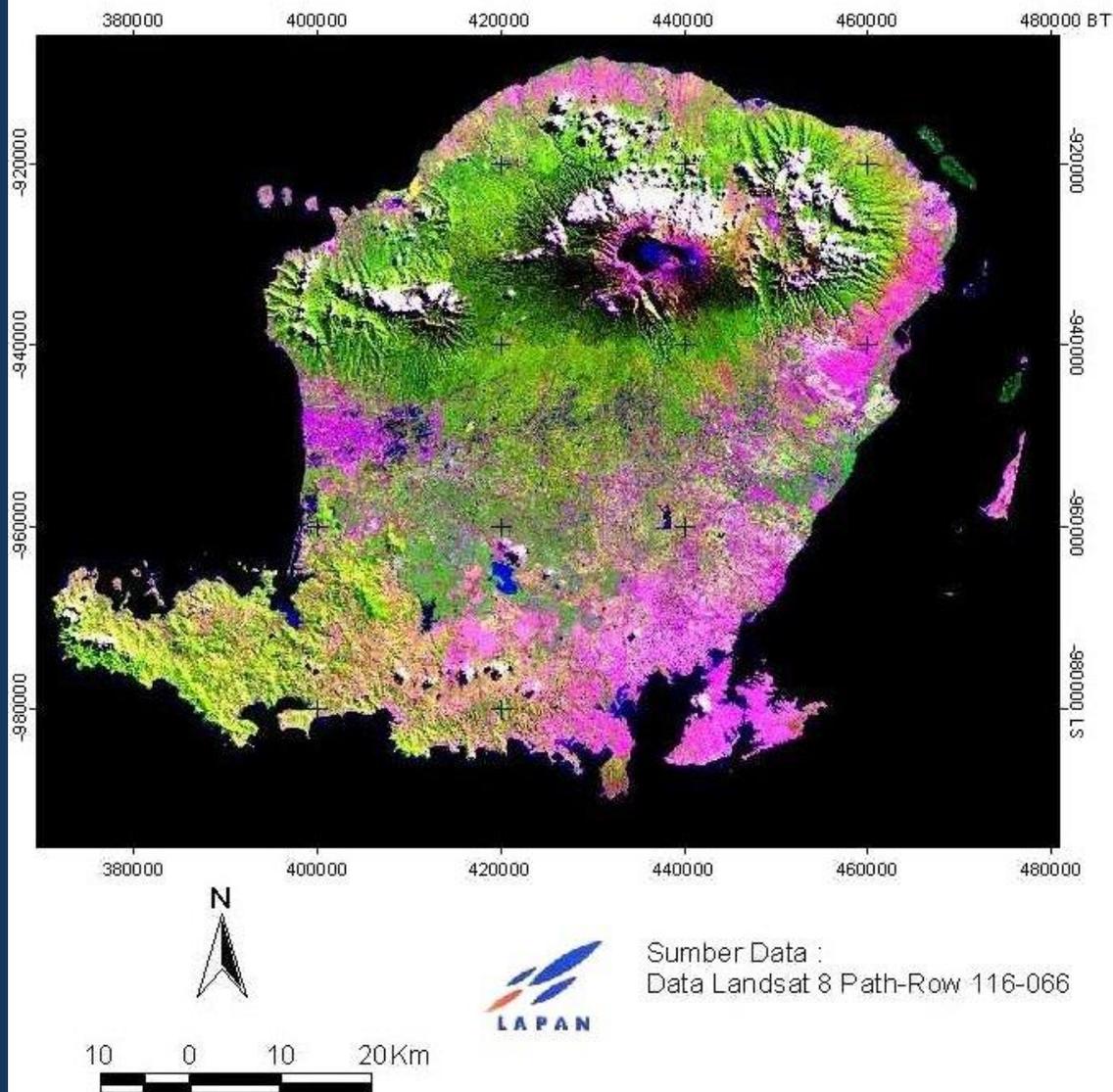


### Citra komposit Kanal 654 Pulau Lombok Tanggal 06 Juli 2016



Diterbitkan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)  
Jakarta - Indonesia

# **Jurnal** **PENGINDERAAN JAUH DAN PENGOLAHAN DATA CITRA DIGITAL** **Journal of Remote Sensing and Digital Image Processing**

Vol.14 No. 1 Juni 2017

ISSN 1412 - 8098

No. 610/AU/P2MI-LIPI/03/2015

Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital berisi hasil penelitian dan pengembangan, dan/atau pemikiran di bidang teknologi dan aplikasi penginderaan jauh. Jurnal ini terbit sejak tahun 2004 dan dipublikasikan dua kali dalam setahun (Juni dan Desember)

## **SUSUNAN DEWAN PENYUNTING JURNAL PENGINDERAAN JAUH DAN PENGOLAHAN DATA CITRA DIGITAL**

### **• Editor in Chief**

Dr. Wikanti Asriningrum, M.Si (Teknologi Penginderaan Jauh)/LAPAN

### **• Section Editor**

Dr. Dede Dirgahayu, M.Si (Teknologi Penginderaan Jauh)/LAPAN

### **Proofreader**

Drs. Sarno, MT (Teknik Sistem Informasi)/LAPAN

### **Reviewer**

Ir. Mahdi Kartasasmita, MS, Ph.D. (Teknologi Penginderaan Jauh)/LAPAN  
Dr. Ir. Baba Barus, M.Sc. (Pengelolaan dan Pemodelan Spasial Sumberdaya)/IPB  
Dr. Vincentius P. Siregar, M.Sc. (Penginderaan Jauh Kelautan)/IPB  
Dr. Eng. Masita Dwi Mandini Manessa (Teknologi Penginderaan Jauh)/UNPAK  
Dr. Kusumo Nugroho, M.Sc. (Pemetaan dan Karakteristik Tanah dan Lahan)/Badan Litbang  
Pertanian  
Dr. Indah Prasasti, M.Si (Aplikasi Penginderaan Jauh)/LAPAN  
Dr. Ety Parwati, M.Si (Teknologi Penginderaan Jauh)/LAPAN  
Ir. Suhermanto (Teknologi Sensor dan Stasiun Bumi Satelit Penginderaan Jauh)/LAPAN  
Dr. Ir. Dony Kushardono, M.Eng (Teknologi Penginderaan Jauh)/LAPAN

## **SUSUNAN SEKRETARIAT REDAKSI JURNAL PENGINDERAAN JAUH DAN PENGOLAHAN DATA CITRA DIGITAL**

### **Pemimpin Umum**

Ir. Christianus Ratrias Dewanto, M.Eng

### **Pemimpin Redaksi Pelaksana**

Ir. Jasyanto, MM

### **Redaksi Pelaksana**

Mega Mardita, S.Sos.,M.Si  
Yudho Dewanto, ST  
Irianto, S.Kom  
Dwi Haryanto, S.kom  
Aulia Pradipta, SS

### **Tata Letak**

M. Luthfi

[Gambar cover, Citra komposit Kanal 654 Pulau Lombok. Tanggal 06 Juli 2016](#)

Alamat Penerbit:

LAPAN, Jl. Pemuda Persil No. 1, Rawamangun, Jakarta 13220  
Telepon : (021) - 4892802 ext. 144 - 145 (Hunting)  
Fax : (021) - 47882726  
Email : publikasi@lapan.go.id  
Situs : <http://www.lapan.go.id>  
<http://jurnal.lapan.go.id>

### **DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
PENGEMBANGAN LAYANAN WEB SPASIAL INFORMASI PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH (DEVELOPMENT OF SPATIAL WEB SERVICES FOR REMOTE SENSING APPLICATION INFORMATION) <b>Sarno</b>	1 - 10
VALUASI JUMLAH AIR DI EKOSISTEM LAHAN GAMBUT DENGAN DATA LANDSAT 8 OLI/TIRS (WATER CONTENT VALUATION IN PEATLAND ECOSYSTEM BY USING LANDSAT 8 OLI/TIRS) <b>Idung Risdiyanto dan Allan Nur Wahid</b>	11 - 24
ESTIMASI PRODUKTIVITAS PRIMER PERAIRAN BERDASARKAN KONSENTRASI KLOOROFIL-A YANG DIEKSTRAK DARI CITRA SATELIT LANDSAT-8 DI PERAIRAN KEPULAUAN KARIMUN JAWA (ESTIMATION OF SEA PRIMARY PRODUCTIVITY BASED ON CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION DERIVED FROM SATELLITE LANDSAT-8 IMAGERY IN KARIMUN JAWA ISLAND) <b>Mulkan Nuzapril, Setyo Budi Susilo, James P. Panjaitan</b>	25 - 36
METODE DUAL KANAL UNTUK ESTIMASI KEDALAMAN DI PERAIRAN DANGKAL MENGGUNAKAN DATA SPOT 6 STUDI KASUS : TELUK LAMPUNG (DUAL BAND METHOD FOR BATHYMETRY ESTIMATION IN SHALLOW WATERS DEPTH USING SPOT 6 DATA CASE STUDY: LAMPUNG BAY) <b>Muchlisin Arief, Syifa Wismayati Adawiah, Ety Parwati, Sartono Marpaung</b>	37 - 50
UJI MODEL FASE PERTUMBUHAN PADI BERBASIS CITRA MODIS MULTIWAKTU DI PULAU LOMBOK (THE TESTING OF PHASE GROWTH RICE MODEL BASED ON MULTITEMPORAL MODIS IN LOMBOK ISLAND) <b>I Made Parsa, Dede Dirgahayu, Johannes Manalu, Ita Carolita, Wawan KH</b>	51 - 64

### Dari Redaksi

Sidang Pembaca yang kami hormati,

Puji syukur, kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karuniaNya, Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital Vol. 14, No. 1, Juni 2017 hadir ke hadapan sidang pembaca.

Terbitan kali ini menengahkan 5 (lima) artikel yang ditulis oleh para peneliti bidang penginderaan jauh, yaitu: Sarno menulis "Pengembangan Layanan Web Spasial Informasi Pemanfaatan Penginderaan Jauh (Development of Spatial Web Services for Remote Sensing Application Information)". Penelitian ini bertujuan menganalisis dan menyediakan metode pengembangan layanan web spasial informasi pemanfaatan penginderaan jauh. Metode penelitian meliputi pengaturan persyaratan awal, pemrograman file map dan pengujian layanan web spasial.

"Valuasi Jumlah Air di Ekosistem Lahan Gambut dengan Data Landsat 8 OLI/TIRS (Water Content Valuation in Peatland Ecosystem by Using Landsat 8 OLI/TIRS)". Merupakan artikel kedua ditulis oleh Idung Risdiyanto dan Allan Nur Wahid. Metode penelitian terdiri dari pengukuran lapangan dan interpretasi data satelit LANDSAT 8. Parameter cuaca seperti radiasi, suhu udara, suhu permukaan, evapotranspirasi (ET), kelembaban udara (RH), kadar air tanah (KAT) dan biomassa diukur di lapangan pada setiap jenis tutupan lahan. Hasil-hasil pengukuran lapangan digunakan untuk memvalidasi parameter-parameter yang diturunkan dari data satelit LANDSAT 8.

Artikel ketiga adalah "Estimasi Produktivitas Primer Perairan Berdasarkan Konsentrasi Klorofil-A yang Diekstrak dari Citra Satelit Landsat-8 di Perairan Kepulauan Karimun Jawa (Estimation of Sea Primary Productivity Based on Chlorophyll-A Concentration Derived from Satellite Landsat-8 Imagery in Karimun Jawa Island)", ditulis oleh Mulkan Nuzapril, Setyo Budi Susilo, James P. Panjaitan. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model estimasi produktivitas primer berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a dari lapisan kedalaman permukaan sampai kedalaman kompensasi. Model hubungan produktivitas primer dengan konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit Landsat-8 kemudian dapat digunakan untuk mengestimasi produktivitas primer satelit.

Muchlisin Arief, Syifa Wismayati Adawiah, Ety Parwati, Sartono Marpaung menulis "Metode Dual Kanal untuk Estimasi Kedalaman di Perairan Dangkal Menggunakan Data Spot 6 Studi Kasus : Teluk Lampung (Dual Band Method for Bathymetry Estimation in Shallow Waters Depth Using Spot 6 Data Case Study: Lampung Bay). Data kedalaman dapat digunakan untuk menghasilkan profil dasar laut, oseanografi, biologi, dan kenaikan muka air laut. Teknologi penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman perairan laut dangkal yang ditandai dengan kemampuan cahaya untuk menembus badan air. Salah satu citra yang mampu mengestimasi kedalaman tersebut adalah SPOT 6 yang memiliki tiga kanal *visible* dan satu kanal NIR dengan resolusi spasial 6 meter.

Artikel terakhir " Uji Model Fase Pertumbuhan Padi Berbasis Citra Modis Multiwaktu di Pulau Lombok (The Testing of Phase Growth Rice Model Based on Multitemporal Modis in Lombok Island)", ditulis oleh I Made Parsa, Dede Dirgahayu, Johannes Manalu, Ita Carolita, Wawan KH. Penelitian ini bertujuan untuk menguji akurasi model fase pertumbuhan padi berbasis MODIS di Pulau Lombok terhadap citra Landsat multiwaktu dan data lapangan. Penelitian dilakukan dengan metode analisis dan evaluasi secara bertahap. Pertama, evaluasi akurasi menggunakan analisis citra Landsat 8 multiwaktu. Pada tahap kedua menggunakan data referensi hasil pengamatan lapangan.

Sidang pembaca yang budiman,

Demikianlah kelima artikel yang kami sajikan dalam Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital Vol. 14, No. 1, Juni 2017. Kami tunggu partisipasi aktif pembaca dengan mengirimkan kepada kami karya tulis ilmiah, tentang hasil penelitian, pengembangan dan atas pemikiran di bidang teknologi, pengembangan metode pengolahan data, dan/atau pengembangan pemanfaatan penginderaan jauh.

Semoga sidang pembaca dapat mengambil manfaatnya.

# **PENGEMBANGAN LAYANAN WEB SPASIAL INFORMASI PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH (DEVELOPMENT OF SPATIAL WEB SERVICES FOR REMOTE SENSING APPLICATION INFORMATION)**

**Sarno**

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Kalisari Lapan No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur 13710, Indonesia

onitsar@gmail.com atau onitsar@yahoo.com

Diterima 31 Januari 2016; Direvisi 2 Agustus 2017; Disetujui 3 Agustus 2017

## **ABSTRACT**

Dissemination implementation of remote sensing application information through the management of National Earth Observation System at the Remote Sensing Application Center of National Institute of Aeronautics and Space could be achieved by expanding and completing the dissemination mechanism, from the traditional way to spatial web services. The service is a standard defined by the Open Geospatial Consortium. These standards are widely used for the dissemination of spatial information through Web Map Services, Web Feature Services and Web Coverage Services - based standards and greatly assist in the the implementation function of data application and remote sensing information dissemination. This research aims to analyze and provide development methods of spatial web services for remote sensing application information. The research methods include setting the initial requirements, programming a map file and spatial web services testing. The results showed that the spatial web services based on University of Minnesota Mapserver has been successfully implemented and tested using Google Map real web map service client and QGIS Desktop in case study forest cover change in Indonesia.

Keyword: *dissemination, forest cover, information, remote sensing, spatial web service*

## ABSTRAK

Pelaksanaan diseminasi informasi pemanfaatan penginderaan jauh melalui pengelolaan Sistem Pemantauan Bumi Nasional di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional dapat dicapai dengan memperluas dan melengkapi mekanisme pelaksanaan diseminasi cara tradisional dengan pengembangan layanan web spasial. Layanan tersebut merupakan standar yang didefinisikan oleh *Open Geospasial Consortium*. Standar tersebut secara luas banyak digunakan untuk diseminasi informasi spasial melalui standar berbasis *Web Map Services*, *Web Feature Services*, dan *Web Coverage Services* yang sangat membantu dalam penyelenggaraan fungsi pelaksanaan pemanfaatan data dan diseminasi informasi pemanfaatan penginderaan jauh. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan menyediakan metode pengembangan layanan web spasial informasi pemanfaatan penginderaan jauh. Metode penelitian meliputi pengaturan persyaratan awal, pemrograman file map dan pengujian layanan web spasial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa layanan web spasial berbasis perangkat lunak *University of Minnesota Mapserver* telah berhasil diimplementasikan dan dilakukan pengujian menggunakan klien layanan web map nyata *Google Map* dan *QGIS Desktop* melalui studi kasus informasi perubahan tutupan hutan di Indonesia.

Kata kunci: *diseminasi, informasi, layanan web spasial, penginderaan jauh, tutupan hutan*

## 1 PENDAHULUAN

Salah satu kegiatan di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) - Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (Pusfatja) adalah melaksanakan Program Pengembangan Sistem Pemantauan Bumi Nasional (SPBN). Kegiatan tersebut bertujuan untuk menyelenggarakan fungsi pelaksanaan diseminasi informasi hasil penelitian, pengembangan dan perekayasaan pemanfaatan penginderaan jauh agar dengan mudah dapat diakses, ditemukan, digabungkan, dievaluasi dan digunakan ulang oleh semua pemangku kepentingan di tingkat kabupaten, provinsi dan nasional.

Kegiatan kerja sama antara Pemerintah Indonesia dan Australia yang dikemas dalam satu sistem kerja *Indonesia National Carbon Accounting System* (INCAS) telah menghasilkan suatu sistem yang akuntabel, dapat dipertanggungjawabkan dan berkelanjutan guna menghitung emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari sektor kehutanan di seluruh wilayah Indonesia. Hutan Indonesia memiliki peran penting di dunia dalam hal penyimpanan karbon. Diperkirakan bahwa sektor kehutanan

merupakan penghasil emisi GRK terbesar di Indonesia. Oleh karena itu, perkiraan penghitungan laju deforestasi yang akurat telah menjadi pusat perhatian, baik di tingkat lokal, nasional, maupun internasional. Kerja sama ini dilaksanakan sebagai tindak lanjut terhadap pengendali kebijakan nasional dan internasional dengan fokus pada tutupan hutan dan perubahannya [LAPAN, 2014].

Informasi perubahan tutupan hutan di Indonesia memiliki peran penting dalam memberikan pelayanan kepada pemangku kepentingan dari berbagai institusi pemerintah, swasta, dunia usaha dan masyarakat. Untuk mendukung kebutuhan strategis dan sistem pelayanan tersebut, LAPAN - Pusfatja melalui program kegiatan pengembangan SPBN melaksanakan fungsi pelaksanaan diseminasi informasi pemanfaatan penginderaan jauh (infatja), diantaranya adalah informasi perubahan tutupan hutan di Indonesia yang dihasilkan oleh Kegiatan INCAS.

Upaya dalam mendukung pelaksanaan diseminasi infatja adalah memperluas dan melengkapi mekanisme pelaksanaan diseminasi cara tradisional

dengan pengembangan *Spatial Web Services* (Layanan Web Spasial). Kunci proses pelaksanaan diseminasi informasi tersebut adalah penerapan standar spasial berbasis web yang didefinisikan oleh *Open GeoSpatial Consortium*.

*Open GeoSpatial Consortium* (OGC) merupakan lembaga yang terkemuka dalam pengembangan standar pertukaran data spasial dan membentuk sebuah pondasi yang konsisten untuk pengembangan perangkat lunak Sistem Informasi Geografi (SIG). Standar OGC tersebut secara luas banyak digunakan untuk diseminasi informasi spasial melalui standar berbasis *Web Map Services* (WMS), *Web Feature Services* (WFS) dan *Web Coverage Services* (WCS).

Penelitian layanan web spasial infatja merupakan pengembangan dari kegiatan sebelumnya, yaitu model pelaksanaan diseminasi infatja berbasis teknologi terbuka [Sarno, 2016] dan penyajian spasial dinamis informasi tutupan hutan dan perubahannya [Sarno, 2015]. Kegiatan tersebut bertujuan memperluas dan melengkapi mekanisme pelaksanaan diseminasi cara tradisional dengan pengembangan model dan pemetaan web (*web mapping*). Kelemahan pemetaan web antara lain adalah informasi hanya dapat digunakan langsung oleh manusia bukan komputer (mesin), pengguna tidak dapat mengintegrasikan informasi dari berbagai sumber (WMS, WFS, WCS), Google Map atau informasi yang telah dimiliki oleh pengguna.

Penelitian ini bertujuan menganalisis dan menyediakan metode pengembangan layanan web spasial, memperluas dan melengkapi mekanisme pelaksanaan diseminasi berbasis pemetaan web dengan pengembangan layanan web spasial, agar infatja dapat digunakan langsung oleh mesin, pengguna dapat mengintegrasikan informasi miliknya dan informasi terbuka dari berbagai sumber.

## 2 KONSEP DAN TEKNOLOGI

### 2.1 Layanan Web Umum

Layanan web dapat dilihat sebagai sebuah program yang berjalan dalam *web server* dan memperlihatkan antarmuka pemrograman untuk aplikasi lain di web. Layanan web berbeda dari halaman web (*web page*). Halaman web dibuat bagi pengguna untuk membaca dan memahami format *HyperText Markup Language* (HTML), sedangkan layanan web dibuat untuk memaparkan komponen yang dapat diprogram berbasis web dan biasanya adalah *Java Script Object Notation* (JSON) atau *Extensible Markup Language* (XML).

Layanan web memiliki beberapa keuntungan atas teknik komputasi tradisional [Fu and Sun, 2010], [Potts and Kopack, 2003] melalui [Rautenbach, 2013]: Fungsi dari layanan web dapat diakses tanpa menginstal perangkat lunak tambahan pada komputer lokal; *Platform independent*, layanan web adalah sejenis kotak hitam yang hanya memperlihatkan antarmuka; Setiap sistem operasi dapat digunakan untuk mengaksesnya; *Legacy systems* dapat dengan mudah diubah sehingga dapat dibungkus dalam layanan web; *Loosely coupled*, layanan web dapat dikonsumsi oleh sejumlah klien dan digabungkan dengan layanan web yang berbeda; Memperbarui layanan web hanya dilakukan pada sisi server dan semua klien akan memiliki akses ke versi yang baru; dan biaya operasional yang lebih rendah dan dapat menghasilkan peluang pendapatan baru.

Program berbasis layanan (*service-based*) merupakan arsitektur perangkat lunak populer yang mengintegrasikan sistem berbeda menjadi terintegrasi melalui jaringan, termasuk klien dan server yang berkomunikasi melalui pesan mengikuti standar XML. Program berbasis layanan dapat meningkatkan ekstensibilitas dari perangkat lunak. Dalam banyak kasus, karena program

berbasis layanan dirancang untuk memungkinkan terjadinya pertukaran data atau informasi melalui protokol Internet, sering disebut sebagai layanan web.

Bentuk komunikasi antara klien dan layanan web digunakan untuk mengkategorikan layanan web, yang dapat berupa *Simple Object Access Protocol* (SOAP) atau *Representational State Transfer* (REST). SOAP merupakan spesifikasi protokol untuk bertukar informasi terstruktur dalam format XML. REST dirancang untuk mengambil keuntungan HTTP sekaligus mengurangi beberapa kompleksitas. REST mengacu pada kumpulan prinsip-prinsip arsitektur jaringan yang menguraikan bagaimana sumber daya didefinisikan dan ditangani [Rautenbach, 2013].

## 2.2 Layanan Web Spasial

Layanan web spasial dapat dikategorikan menjadi tiga jenis: 1) layanan peta (*map services*) adalah jenis layanan yang memungkinkan klien untuk meminta gambar peta dari batas (*extent*) geografis tertentu, 2) layanan data (*data services*), memungkinkan klien untuk *query*, menyunting, dan menyinkronkan data melalui web. Layanan data melakukan sejumlah fungsi layanan data, contoh menyunting fitur data, mencari data spasial menggunakan indeks atau katalog dan 3) layanan analisis (*analytical services*), melakukan sejumlah fungsi SIG yang telah ditetapkan, contoh analisis jaringan dan *geocoding* melalui layanan web.

WMS merupakan standar yang diusulkan oleh OGC berdasarkan permintaan HTTP GET atau POST. Ketika dipanggil, layanan dinamis menghasilkan gambar peta dari informasi geografis dan sesuai dengan spesifikasi yang diberikan oleh pengguna. WMS merupakan yang paling populer dari layanan jaringan OGC, terutama versi 1.1.1. Standar WMS saat ini adalah 1.3.0.

Layanan WMS harus dapat menghasilkan peta dengan pilihan data

tertentu, menjawab pertanyaan dasar tentang konten peta, dan menyediakan klien dengan daftar peta lainnya yang dapat dihasilkan. Layanan WMS memiliki empat tahapan pemrosesan berikut [Peng and Tsou, 2003] dalam [Rautenbach V., 2013] yaitu: 1) pemilihan data spasial yang akan ditampilkan; 2) pembentukan tampilan untuk area referensi; 3) *rendering* tampilan elemen menjadi sebuah peta; dan 4) menampilkan peta untuk pengguna.

WMS hanya memungkinkan mengembalikan hasil gambar yang tidak dapat diedit atau dianalisis spasial. Gambar yang dihasilkan dalam format raster, seperti *Portable Network Graphics* (PNG), *Graphics Interchange Format* (GIF) atau *Joint Photographic Experts Group* (JPEG). Format gambar tersebut mendukung transparansi yang memungkinkan pengguna untuk tumpang susun (*overlay*) *dataset* atau tema yang berbeda, sehingga memungkinkan pengguna untuk menghasilkan peta yang lebih kompleks.

Perangkat lunak baik sisi klien maupun sisi server yang menerapkan spesifikasi tersebut memperoleh keunggulan karena *interoperable* dengan perangkat lunak *geospasial* lainnya. Contoh yang sangat baik dari perangkat lunak tersebut adalah *University of Minnesota* (UMN) MapServer [Mapserver, 2015] dan Geoserver [Geoserver, 2015], dapat bertindak sebagai Server WMS.

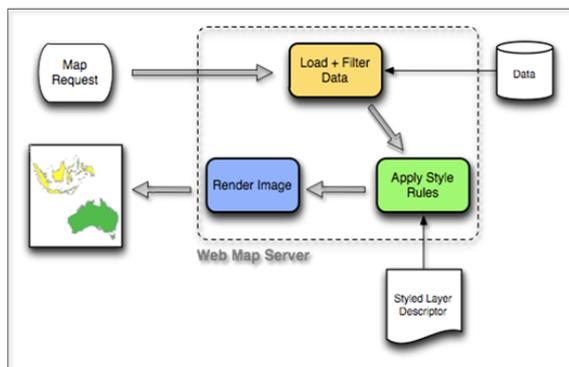
Server juga dapat mengkonsumsi sumber data dari satu sama lain, membangun peta pada sumber daya yang tersebar di internet. Sekali lagi sebagai contoh: MapServer berfungsi disamping menyediakan WMS, juga dapat mengkonsumsi data WMS dari server lain untuk pengguna akhir.

## 2.3 Operasi Layanan Web Map

Komponen fundamental dari peta web (*web map*) yang paling sederhana untuk memahaminya adalah gambar peta (*map image*). WMS merupakan protokol standar untuk melayani

gambar peta georeferensi yang dihasilkan oleh server peta (*map server*) [Opegeo, 2012]. Singkatnya, WMS merupakan cara klien untuk meminta gambar (*image*) peta dari server. Klien mengirimkan permintaan ke server dan server menghasilkan gambar berdasarkan parameter dalam permintaan yang dikirimkan ke server dan server akhirnya mengembalikan gambar, seperti pada Gambar 2-1.

Bahan sumber gambar yang dihasilkan tidak perlu gambar. WMS menghasilkan gambar dari sumber bahan apa pun yang diminta, yang bisa berupa data vektor, data raster, atau kombinasi dari keduanya.

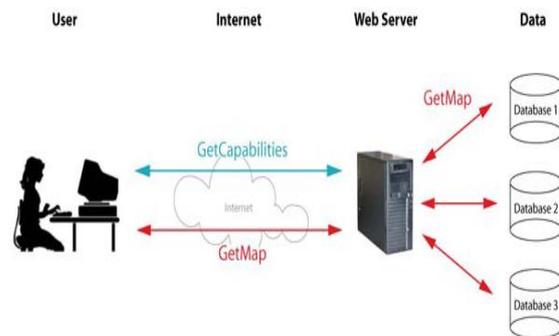


Gambar 2-1: Cara kerja Layanan Web Map Sumber [Opegeo, 2012]

Berdasarkan OGC, *Web Services Commons* mensyaratkan bahwa semua layanan web OGC mendukung permintaan *GetCapabilities*. Standar WMS mendefinisikan tiga operasi berikut [OGC, 2006] dalam [Rautenbach V., 2013] yaitu: 1) *GetCapabilities* (Wajib): fungsi *GetCapabilities* mengembalikan file XML yang berisi layanan metadata yang menyediakan informasi tentang kemampuan layanan yang tersedia untuk klien; 2) *GetMap* (Wajib): fungsi *GetMap* mengembalikan gambar peta sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan dalam parameter yang dikirim; dan 3) *GetFeatureInfo* (pilihan): *GetFeatureInfo* mengembalikan informasi tentang titik tertentu.

Operasi *GetCapabilities* dan *GetMap* merupakan bagian dari layanan WMS

dasar. Pemanggilan layanan meliputi parameter berikut: daftar *layer*, *style*, sistem referensi spasial, lebar, tinggi, format, warna latar belakang dan transparansi. Permintaan dapat disampaikan ke layanan WMS dalam bentuk *Uniform Resource Locator* (URL). Layanan WMS dapat melakukan fungsi-fungsi berikut [OGC, 2004] dalam [Rautenbach V., 2013] yaitu: 1) menghasilkan peta; 2) menjawab *query* dasar tentang isi peta; atau 4) memberitahu program lain peta apa yang dapat dihasilkan dan mana yang dapat di *query* lebih lanjut.



Gambar 2-2: Operasi *GetMap* dan *GetCapabilities* Sumber [Regula, 2012]

Secara khusus WMS mendefinisikan operasi berikut (Gambar 2-2) [Regula, 2012] yaitu: 1) cara mendapatkan dan memberikan informasi tentang jenis peta apa yang dapat diberikan oleh server (*GetCapabilities*); 2) bagaimana meminta dan memberikan peta sebagai gambar (*picture*) atau set fitur (*GetMap*); dan 3) bagaimana mendapatkan dan memberikan informasi mengenai konten suatu peta (*GetFeatureInfo*).

File *GetCapabilities* terletak pada server dan karena itu permintaan *GetCapabilities* berakhir pada *web server* (*web server* mengirimkan file kembali ke pengguna). Di sisi lain, permintaan *GetMap* meminta data yang disimpan dalam database dan karena *web server* harus menghubungi database dan mengekstrak data yang diminta. Jangkauan dari *GetCapabilities* dan permintaan *GetMap* [Regula, 2012].

### 3 METODOLOGI

#### 3.1 Jenis Penelitian

Untuk menghasilkan nilai bagi pemenuhan kebutuhan, kelangsungan dan peningkatan mutu kehidupan manusia, kegiatan teknologi harus dilakukan melalui suatu tahapan yang runtun meliputi penelitian terapan, pengembangan, perancangan dan pengoperasian [BPPT, 2016].

Penelitian dapat dilaksanakan secara teoritik melalui model matematika dan eksperimental melalui percobaan laboratorium, eksplorasi, observasi, dan survey. Penelitian dilaksanakan secara bertahap, mulai dengan pengumpulan data, pengolahan data, interpretasi hasil pengolahan data, dan penarikan kesimpulan.

Penelitian terapan merupakan kegiatan penelitian di mana subjek yang diteliti bisa dikembangkan menjadi produk teknologi yang bermanfaat. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan.

#### 3.2 Muatan Informasi

Informasi pemanfaatan penginderaan jauh yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk standar program penginderaan jauh INCAS berupa perubahan penutup hutan (tutupan, penyusutan, dan penambahan hutan) periode tahun 2000 – 2012.

Produk standar yang dihasilkan dari kegiatan INCAS adalah mosaik tahunan citra Landsat (*scene selection, ortho rectification, terrain correction, sun correction, cloud masking*, dan mosaik) multiwaktu seluruh Indonesia. Citra Landsat tersebut dimanfaatkan untuk memetakan penutup lahan khususnya lahan hutan seluruh Indonesia sebagai *input* untuk penghitungan emisi karbon [Parsa, 2013].

#### 3.2 Tools

Tersedia sejumlah pilihan teknologi yang dapat disusun dan disesuaikan untuk pengembangan layanan web

spasial. Teknologi utama yang dipilih difokuskan pada paket perangkat lunak sumber terbuka, mendukung format standar, dan cukup stabil dan andal.

*Tools* untuk pengembangan layanan web spasial infatja dengan studi kasus perubahan tutupan hutan di Indonesia adalah:

- Sisi server (*Server Side*), pengembangan dan lainnya: Sistem Operasi: Ubuntu -14.04 LTS; Server Web: Apache/2.4.7; Server Map: UMN MapServer 7.0.2; *Desktop* GIS: QGIS 2.8 dan Editor: Notepad ++,
- Sisi Klient (*Client Side*): *Web Browser* *Real WMS Client*: QGIS dan GMaps.

#### 3.3 Metode Pengembangan

MapServer mengimplementasikan dan mendukung fitur WMS versi: 1.1.1 dan 1.3.0. Dengan MapServer, yaitu "mapserv" program CGI yang tahu bagaimana menangani permintaan WMS. Jadi menyiapkan server WMS dengan MapServer melibatkan pemasangan program mapserv CGI dan menyiapkan *map file* (file yang menentukan objek peta) dengan metadata yang tepat di dalamnya.

Metode yang digunakan untuk pengembangan *spatial web service* infatja studi kasus perubahan tutupan hutan di Indonesia dipaparkan dalam WMS Server [Jeff McKenna, 2016]. Berikut ini penjelasan singkatnya.

##### A. Pengaturan Persyaratan Awal

Persyaratan awal berikut ini diperlukan untuk menjalankan Server WMS menggunakan UMN MapServer:

- MapServer harus dipasang, diatur, dan berjalan. [Untuk melakukannya ikuti petunjuk secara *online* UMN MapServer: [http://mapserver.org/ogc/wms\\_server.html](http://mapserver.org/ogc/wms_server.html)],
- Jika MapServer sudah terpasang, periksa bahwa mapserv dapat dijalankan termasuk dukungan WMS. Salah satu cara untuk meverifikasi hal ini adalah dengan menggunakan baris perintah

saklar (*switch*) "-v" dan mencari "SUPPORTS=WMS\_SERVER".

```
$ ./mapserv -v
MapServer version 7.0.2
SUPPORTS=PROJ
SUPPORTS=WMS_SERVER
```

## B. Pemrograman File Map

File map merupakan file teks dan digunakan oleh UMN MapServer untuk akses data dan pengaturan data layer yang akan digambarkan, memfokuskan letak geografis dalam map, sistem proyeksi dan format keluaran gambar, serta mengatur legenda dan skala.

Setiap turunan dari server WMS yang dipasang perlu memiliki mapfile sendiri. File tersebut merupakan mapfile MapServer biasa di mana beberapa parameter dan beberapa entri metadata adalah wajib. Sebagian besar metadata diperlukan untuk menghasilkan keluaran *GetCapabilities* yang benar. Berikut adalah daftar parameter dan item metadata yang sangat dianjurkan untuk pengaturan WMS:

- Pada tingkat peta: Map Name & Projection; dan Map Metadata (dalam *WEB Object*): *wms\_onlineresource*; *wms\_title*; dan *wms\_srs*,
- Pada tingkat layer: Layer Name & Layer Projection; Layer Metadata; *wms\_title*; dan *wms\_srs*.

Masing-masing parameter secara lebih rinci didiskusikan sebagai berikut:

- *Map Name* dan *wms\_title* – Kapabilitas WMS membutuhkan label Nama dan Judul untuk setiap layer. Metadata *Map Name* dan *wms\_title* akan digunakan untuk menetapkan nama root layer dan judul dalam keluaran XML *GetCapabilities*,
- *Layer Name* dan *wms\_title* metadata – Setiap layer individual memerlukan nama dan judul yang unik. Nama layer juga digunakan dalam permintaan *GetMap* dan *GetFeatureInfo* untuk merujuk ke *layer* yang harus disertakan pada keluaran map dan dalam *query*,

- *Map Projection* dan *wms\_srs* – Server WMS harus mempromosikan proyeksi di mana mereka mampu melayani data menggunakan kode proyeksi EPSG2. Versi terbaru dari pustaka PROJ4 datang dengan tabel kode inisialisasi EPSG dan memungkinkan pengguna untuk menentukan proyeksi,
- *Layer Projection* dan *wms\_srs* metadata– Secara *default layer* mewarisi SRS atau layer induknya (proyeksi map). Sangat dianjurkan untuk memberikan Projection dan *wms\_srs* pada setiap *layer*. Untuk mempromosikan beberapa proyeksi, maka objek *projection* diperlukan di setiap layer,
- Metadata "*wms\_onlineresource*"– Metadata ini diatur dalam metadata *objek web map* dan menentukan URL yang harus digunakan untuk mengakses *server*. Hal ini diperlukan untuk keluaran *GetCapabilities* dan sangat disarankan agar selalu memberikan *wms\_onlineresource*.

## C. Pengujian Layanan Web Spasial

- *Validasi Kapabilitas Metadata*  
Dengan *mapfile* tertentu, harus diperiksa kapabilitas XML yang dikembalikan oleh server untuk memastikan tidak ada informasi yang hilang. Menggunakan *web browser*, akses ke sumber URL Server *online* dengan menambahkan parameter "REQUEST = *GetCapabilities*" ke bagian akhir, misalnya:  

```
http://pusfatja.lapan.go.id/
cgi-bin/mapserv?map=mywms.map&
REQUEST=GetCapabilities.
```
- *Pengujian dengan GetMap Request*  
Mengetahui bahwa server dapat menghasilkan tanggapan XML *GetCapabilities* dengan benar, maka dapat menguji permintaan *GetMap*. Hanya menambahkan "VERSION=1.1.0&REQUEST=GetMap" ke URL server, misalnya:  

```
http://pusfatja.lapan.go.id/
cgi-bin/mapserv?map=mywms.map&
VERSION=1.1.0&REQUEST= GetMap.
```

- *Pengujian dengan Real WMS Client*  
Real WMS client sumber terbuka yang digunakan adalah: *Web Client – Google Map* dan *Desktop GIS – QGIS*.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Sistem Perangkat Lunak

Pengembangan layanan web spasial infatja, studi kasus perubahan tutupan hutan wilayah Indonesia menggunakan pilihan perangkat lunak:

- Sistem Operasi - Ubuntu 14.04.5 LTS (*Trusty Tahr*) [Ubuntu, 2015];
- Server Web - Apache2-Apache/2.4.7 [Apache, 2015];
- Server Map - UMN *MapServer* - 7.0.2.

Pemasangan dan pengujian *Server Web* dan *Server Map* melalui terminal sesuai dengan tahapan pada (Benigno M., 2014).

### 4.2 Pemrograman File Map

Pengembangan layanan *web* spasial dimulai dengan proses menggambar dan berinteraksi dengan map. File pengaturan *web map server* atau lebih dikenal dengan istilah file map merupakan komponen utama dan jantung dari UMN *MapServer*.

Pengaturan WMS menggunakan Konfigurasi objek MAP seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1, mendefinisikan parameter umum untuk keseluruhan informasi perubahan tutupan hutan. Untuk mengintegrasikan layer informasi perubahan tutupan hutan ke dalam layanan *web* spasial dilakukan pengaturan parameter utama.

Pengaturan perubahan tutupan hutan untuk seluruh wilayah Indonesia menerapkan proyeksi *Geographic Coordinate System* WGS84/EPSC:4326:

```
NAME "penutup_hutan_2001
PROJECTION "init=epsg:4326"
CLASS NAME "Hutan" COLOR 38 115 1
Pustaka PROJ4 dengan tabel kode
inisialisasi untuk proyeksi EPSG 4326
adalah sebagai berikut:
# WGS 84
<4326> +proj=longlat +datum=WGS84
+no_defs <>
```

```
19 MAP
20 SIZE 950 500
21 STATUS ON
22 EXTENT 94 -12 141 7
23 UNITS DD
24
25 INCLUDE "../geomoose_globals.map"
26
27 WEB
28 METADATA
29 'ows_title' 'Tutupan Hutan'
30 'ows_srs' 'EPSG:26915 EPSG:4326 EPSG:900913 EPSG:3857'
31 'ows_enable_request' '*'
32 'ows_onlineresource' 'http://spbn.lapan.go.id/cgi-bin/..._wms?'
33 'ows_feature_info_mime_type' 'text/html'
34
35 END
36 # Web
37
38 PROJECTION
39 "init=epsg:4326"
40
41 LEGEND
42 STATUS ON
43 LABEL
44 TYPE TRUETYPE
45 FONT vera_sans
46 SIZE 8
47 COLOR 0 0 0
48
49 END
50
51 #===== START OF LAYER PENUTUP HUTAN =====#
52 INCLUDE "penutup_hutan_2000.map"
53 ...
54 END #Map
```

Gambar 4-1: Pengaturan WMS Server.

Ketelitian geometri dan radiometri dari tampilan informasi yang dihasilkan oleh UMN *Mapserver* melalui layanan web spasial sangat tergantung pada proyeksi standar dan format gambar (png, jpg, tif) yang digunakan. UMN *Mapserver*, sesuai pengaturan, akan menerapkan proyeksi standar WGS 1984 yang merupakan sistem koordinat referensi yang secara global digunakan untuk posisi lintang dan bujur di permukaan bumi.

### 4.3 Pengujian GetMap

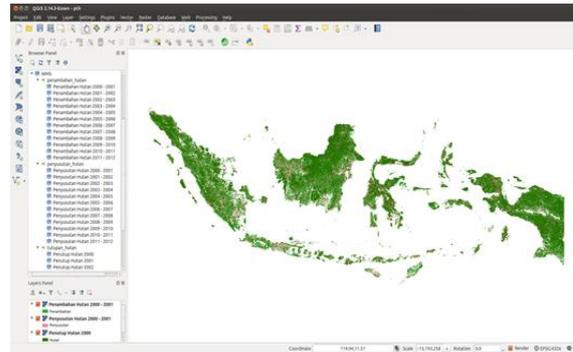
Pengujian operasi *GetMap* informasi tutupan hutan tahun 2000 dan 2001 ditunjukkan sebagai berikut:

```
http://spbn.lapan.go.id/cgi-
bin/tutupan_hutan_wms?Layers=
penutup_hutan_2000&SERVICE=WMS&
VERSION=1.1.1&REQUEST=GetMap&
STYLE=&FORMAT=image/jpeg&
SRS=EPSG:4326&BBOX=94,-12,141,7&
WIDTH=950&HEIGHT=500
```

Hasil pengujian operasi WMS *GetMap* informasi tutupan hutan tahun 2000 tersebut ditunjukkan seperti pada Gambar 4-2.



Gambar 4-2: GetMap tutupan hutan 2001-2002



Gambar 4-3: QGIS: perubahan tutupan hutan

**4.4 Pengujian Dengan QGIS**

Pengujian WMS pada *Real WMS Client - QGIS Desktop* dilakukan dengan pilihan koneksi WMS menggunakan Nama dan URL Layer Tutupan Hutan:

Name: Tutupan\_hutan  
 URL: [http://spbn.lapan.go.id/cgi-bin/tutupan\\_hutan\\_wms?](http://spbn.lapan.go.id/cgi-bin/tutupan_hutan_wms?)

Penyajian visualisasi informasi penambahan dan penyusutan hutan periode tahun 2001 - 2012 dan informasi tutupan hutan tahun 2000 - 2012 hasil penerapan koneksi WMS seperti ditunjukkan pada Gambar 4-3.

QGIS mampu mengintegrasikan informasi dari berbagai sumber (WMS, WFS, WCS). Dalam Gambar 4-3, tidak diintegrasikan dan disajikan informasi latar belakang laut dan negara tetangga.

**4.5 Pengujian Dengan Google Map**

Pengujian layanan WMS pada *Real WMS Client - Google Map* dilakukan dengan pemrograman *Google Map Application Programming Interface (API)*. Bagian penting dari program berada pada kode yang menentukan URL WMS dengan parameter: *Operation (GetMap), Service (WMS), Version (1.1.1), Layers (penutup\_hutan\_2000), Format (image/png), Projection (WGS84 SRS 4326), Bounding Box* dan *Tile size (256x256)*. Hasil pemrograman ditunjukkan seperti pada Gambar 4-4.

Dalam Gambar juga disajikan informasi latar belakang laut dan negara tetangga. Dari informasi tersebut, bawaan yang dapat dipilih (*maps, satellite* atau *composite*) melalui pemrograman API.



Gambar 4-4: GMaps: perubahan tutupan hutan

## 5 KESIMPULAN

Penelitian ini merupakan upaya memperluas dan melengkapi mekanisme pelaksanaan diseminasi infatja berbasis layanan web spasial. Layanan tersebut merupakan standar OGC yang secara luas banyak digunakan untuk diseminasi informasi spasial melalui standar berbasis WMS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa layanan web spasial infatja telah berhasil diimplementasikan dan dilakukan pengujian menggunakan *real wms client QGIS* dan *Google Map* melalui studi kasus informasi perubahan tutupan hutan Indonesia.

## DAFTAR RUJUKAN

- Apache (2015). *Apache/2.4.7*. Dikutip dari <https://httpd.apache.org>. [Januari 2015].
- Benigno M., (2014). *Instalação do Mapserver no Ubuntu 14.04 via Terminal*. Dikutip dari <http://profmarcello.blogspot.co.id/2014/04/instalacao-do-mapser-verno-ubuntu-1404.html>. [Maret 2016].
- BPPT (2016). *Peraturan Kepala BPPT Nomor 015 Tahun 2016 tentang Jabatan Fungsional Perakayasa dan Angka Kreditnya*. Jakarta.
- Fu, P., and Sun, J., (2010). *Web GIS principles and applications*. ESRI Press.
- Geoserver (2015). *GeoServer User Manual*. Dikutip dari <http://docs.geoserver.org/>. [Maret 2016].
- Jeff McKenna (2016). *WMS Server*. Dikutip dari [http://mapserver.org/ogc/wms\\_server.html](http://mapserver.org/ogc/wms_server.html). [September 2016].
- LAPAN (2014). *Program Penginderaan Jauh INCAS: Metodologi dan Hasil, Versi 1*. LAPAN-IAFCP, Jakarta.
- MapServer (2015). *MapServer 7.0.2*. Dikutip dari <http://mapserver.org>. [Maret 2016].
- OGC (2004). *OpenGIS Web Map Server Cookbook*. Dikutip dari [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=7769](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=7769). [Februari 2012].
- OGC (2006). *OpenGIS Web Map Service Implementation Specification 1.3.0*. Dikutip dari <http://www.Open-geospatial.org/standards/wms>. [Februari 2011].
- Opengeo (2012). *Web Map Service*. Dikutip dari [http://presentations.opengeo.org/2012\\_FOSSGIS/suite-intro/geo-server/wms.html](http://presentations.opengeo.org/2012_FOSSGIS/suite-intro/geo-server/wms.html). [November 2016].
- Parsa, I., Made (2013). *Kajian Pendekatan Teori Probabilitas Untuk Pemetaan Lahan Sawah Berbasis Perubahan Penutup Lahan Citra Landsat Multiwaktu*, Jurnal Penginderaan Jauh Vol. 10 No. 2 Desember.
- Peng Z., and Tsou M., (2003). *Internet GIS-Distributed geographic information services for the internet and wireless networks*. John Wiley and Sons: New Jersey, USA.
- Potts, S., and Kopack, M., (2003). *Sams Teach Yourself Web Services in 24 Hours*. Sams publishers, United States of America.
- Rautenbach V., (2013). *Orchestrating standard web services to produce thematic maps in a geoportal of a spatial data infrastructure*, Tesis University of Pretoria, Pretoria.
- Regula S., (2012). *Open Geospatial Consortium (OGC) and Web Services (WMS, WFS)*. Dikutip dari [http://www.e-cartouche.ch/content\\_reg/cartouche/webservice/en/text/webser-vice.pdf](http://www.e-cartouche.ch/content_reg/cartouche/webservice/en/text/webser-vice.pdf). [September 2015].
- Sarno (2015). *Pengintegrasian dan Penyajian Spasial Dinamis Informasi Tutupan Hutan dan Perubahannya Dalam Sistem Pemantauan Bumi Nasional*, Majalah Berita Dirgantara, Vol. 16. No. 2, 2015
- Sarno (2016). *Model Pelaksanaan Diseminasi Informasi Penginderaan Jauh Berbasis Teknologi Terbuka*. Jurnal Penginderaan Jauh Vol. 13 No. 2 Desember.
- Ubuntu (2015). *Ubuntu Server 14.04.5 LTS*. Dikutip dari <https://www.ubuntu.com/download/server>. [Januari 2015].

# **VALUASI JUMLAH AIR DI EKOSISTEM LAHAN GAMBUT DENGAN DATA LANDSAT 8 OLI/TIRS (WATER CONTENT VALUATION IN PEATLAND ECOSYSTEM BY USING LANDSAT 8 OLI/TIRS)**

**Idung Risdiyanto dan Allan Nur Wahid**

Departemen Geofisika dan Meteorologi – Institut Pertanian Bogor

Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Dermaga, Bogor Indonesia

e-mail: idungris@ipb.ac.id

Diterima 26 Maret 2017; Direvisi 14 Juli 2017; Disetujui 11 September 2017

## **ABSTRACT**

The water content of peatland ecosystems stored as gasses in the air and as liquid in the peat soil and vegetation. The presence of water was influential to the value of spectral radiances received by satellite sensors. Objective of study were develop empirical model to be applied in the Landsat 8 satellite imagery interpretation to estimate water content of peatland ecosystem. Method consisted of field measurements and satellite data interpretation. Field activities aimed to obtain weather parameters such as radiation, air temperature, surface temperature, evapotranspiration (ET), relative humidity (RH), soil water content (KAT), and biomass for each land cover in peatland ecosystems. Field measurements results were used to validate the parameters derived from Landsat 8 satellite data. Water content in the air was assessed by the ET and RH, in the soil was assessed by soil heat flux (G) and in the vegetation by biomass. The results of the validation of the data field measurement with Landsat 8 showed only ET ( $r^2 = 0.71$ ), RH ( $r^2 = 0.71$ ), and biomass ( $r^2 = 0.87$ ) had a strong relationship, while between G and KAT had weak relationship. Conclusion of this study indicated Landsat 8 satellite data could be used to calculate the water content in the air and vegetation. Thus, estimating water content in the peatland ecosystem with satellite data can only be done on the surface.

Keywords: *biomass, Landsat 8, moisture, peat, water*

## ABSTRAK

Ekosistem lahan gambut menyimpan air dalam bentuk gas di udara, dan cair dalam tanah gambut dan vegetasi. Keberadaannya mempengaruhi nilai spektral radian yang diterima oleh sensor satelit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan model empirik yang dapat diaplikasikan untuk interpretasi citra satelit dalam pendugaan jumlah air di ekosistem lahan gambut. Metode penelitian terdiri dari pengukuran lapangan dan interpretasi data satelit LANDSAT 8. Parameter cuaca seperti radiasi, suhu udara, suhu permukaan, evapotranspirasi (ET), kelembaban udara (RH), kadar air tanah (KAT) dan biomassa diukur di lapangan pada setiap jenis tutupan lahan. Hasil-hasil pengukuran lapangan digunakan untuk memvalidasi parameter-parameter yang diturunkan dari data satelit LANDSAT 8. Jumlah air di udara yang dinilai dari ET dan RH, jumlah air di tanah dinilai dengan laju pemanasan tanah (G) dan jumlah air di vegetasi dengan biomassa. Hasil validasi antara data lapangan dengan data LANDSAT 8 menunjukkan hanya nilai ET ( $r^2=0,71$ ), RH ( $r^2=0,71$ ), dan biomassa ( $r^2=0,87$ ) mempunyai hubungan yang kuat, sedangkan nilai G tidak mempunyai hubungan yang kuat dengan KAT. Penelitian ini menyimpulkan bahwa data satelit LANDSAT 8 hanya dapat digunakan untuk menghitung jumlah air yang tersimpan di udara dan vegetasi. Oleh karena itu, pendugaan jumlah air di ekosistem lahan gambut dengan data satelit hanya dapat dilakukan di atas permukaan.

Kata kunci: *air, biomassa, gambut, kelembaban, Lansat 8*

### 1 PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan gambut terluas di antara negara tropis, yaitu sekitar 21 juta ha (BB Litbang SDLP 2008). Salah satu fungsi hutan lahan gambut adalah sebagai cadangan air yang berperan penting saat musim kemarau dan keseimbangan hidrologi kawasan untuk pengendalian banjir (Bullock and Acreman, 2003; Querner *et al.*, 2010). Hutan lahan gambut juga merupakan ekosistem dengan cadangan air yang tinggi (Joosten & Clarke, 2002). Konversi terhadap lahan gambut dapat menyebabkan gangguan terhadap sistem hidrometeorologi.

Kondisi hidrometeorologi suatu lahan ditunjukkan oleh jumlah kandungan air di udara, tanah dan vegetasi dalam bentuk gas dan cair. Di udara dinyatakan sebagai kelembaban udara yang dipengaruhi oleh faktor-faktor iklim dan vegetasi (Santoso, 2004). Kelembaban tanah didefinisikan sebagai air yang terkandung di permukaan

tanah tak jenuh (Petropoulos *et al.*, 2014) yang dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah seperti tekstur tanah, struktur tanah, kandungan bahan organik tanah, kedalaman solum tanah, dan faktor iklim mikronya. Perubahan kelembaban tanah ini berhubungan dengan perubahan suhu permukaan (Hirschi *et al.*, 2014) sehingga mempengaruhi variabilitas iklim dan kondisi atmosfer (Entin *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2002; Amenu *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2008).

Selama ini, pengukuran kelembaban ekosistem lahan gambut lebih difokuskan pada jumlah air di dalam tanah. Misalnya, dengan cara mengukur tinggi muka air (Schlotzhauer & Price, 1999; Kettridge *et al.*, 2015), metode gravimetri (Chambers *et al.*, 2010; Shien *et al.*, 2011; Kramarenko *et al.*, 2015), dan metode konduktivitas elektrik (Roth *et al.*, 1992; Noborio, 2001; Campbell *et al.*, 2002). Pada skala yang lebih luas, sering digunakan metode pengukuran tidak langsung dengan

menggunakan data satelit multispektral (Kasischke *et al.*, 2009; Meingast *et al.*, 2014). Pengukuran langsung akan mendapatkan jumlah air di tanah gambut secara kuantitatif, sedangkan dengan satelit bersifat kualitatif. Kedua cara tersebut belum memadai untuk memberikan informasi jumlah air di atas permukaan lahan, terutama dalam bentuk gas dan yang tersimpan dalam vegetasi.

Pengukuran langsung pada tingkat wilayah yang lebih luas memerlukan biaya dan waktu yang tidak sedikit (Grand-Clement *et al.*, 2015; Iriana *et al.*, 2016). Sedangkan dengan data satelit hanya memberikan hasil kualitatif dan lebih efektif untuk mengetahui kelembaban ekosistem lahan gambut pada tingkat wilayah (Middleton, *et al.*, 2008; Honkavaara *et al.*, 2016). Oleh karenanya, kuantifikasi kelembaban ekosistem lahan gambut dengan menggunakan data satelit masih perlu dikembangkan (Krankina *et al.*, 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan pendekatan kuantitatif untuk menduga jumlah air di ekosistem lahan gambut dalam bentuk gas dan cair yang tersimpan di udara, vegetasi dan tanah dengan menggunakan data satelit multispektral LANDSAT 8 OLI/TIRS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dalam interpretasi citra satelit untuk mendapatkan nilai jumlah air di dalam ekosistem hutan gambut.

## 2 METODOLOGI

### 2.1 Lokasi dan Data

Kegiatan pengukuran data lapangan dilaksanakan di perkebunan kelapa sawit PT BSS di Kec. Kendawangan, Kab. Ketapang, Kalimantan Barat (110° 53' 03" – 110° 48' 54" BT dan 02° 47' 43" – 02° 53' 09" LS. Pada bulan Maret-April 2016. Selain data lapangan, data satelit

yang digunakan adalah LANDSAT 8 OLI/TIRS path/row 120/62 dengan tanggal akuisisi 29 April 2016 ([www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov))

### 2.2 Metode Penelitian Kegiatan Lapangan

Pengukuran parameter cuaca, biomassa dan kelembaban tanah dilakukan di tiga jenis tutupan lahan di atas gambut, yaitu hutan sekunder (HS), belukar (B), dan semak (S) dengan masing-masing terdiri dari tiga plot area sebagai ulangan lokasi. Parameter cuaca yang diukur untuk mengetahui kondisi iklim mikro dari setiap tutupan lahan terdiri atas suhu udara (°C), suhu permukaan tanah (°C, ), suhu tanah (°C), pada berbagai kedalaman (0 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm, 80 cm dan 100 cm), kelembaban udara relative (RH) (%), radiasi (watt/m<sup>2</sup>), curah hujan (mm), kecepatan angin (m/s) dan arah angin (*degree*) yang diukur menggunakan *Automatic Weather Station* (AWS). Kadar air tanah (%KAT) diukur dengan menggunakan metode gravimetrik. Pengambilan sampel tanah dilakukan sampai dengan kedalaman 100 cm.

Data biomassa dengan metode plot transek vegetasi dan dihitung dengan metode destruktif dan alometrik (Hashimoto *et al.*, 2004; Hariah dan Rahayu, 2007; Dharmawan, 2014). Untuk setiap plot vegetasi (400 m<sup>2</sup>) terdiri atas empat subplot yang terdiri dari (i) subplot 1x1 m untuk destruktif sampel vegetasi bawah, (ii) subplot 5x5 m untuk diameter vegetasi 2-10 cm, (iii) sub-plot 10x10 m untuk diameter vegetasi 10-20 cm dan (iv) subplot 20x20 m untuk diameter vegetasi >20 cm. Di setiap plot terdiri dari tiga kali ulangan pengukuran, sehingga luas plot menjadi 1200 m<sup>2</sup>. Jumlah plot untuk setiap tutupan lahan adalah sembilan plot.

### 2.3 Analisis Data Lapangan

Data cuaca digunakan untuk menghitung evapotranspirasi dan tekanan uap aktual untuk mengetahui jumlah air di udara dalam bentuk gas. Evapotranspirasi dihitung dengan metode Penman-Monteith (persamaan 2-1).

$$ET = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho_a C_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma [1 + \frac{r_s}{r_a}]} \quad (2-1)$$

Dimana:

- ET : adalah evapotranspirasi potensial (mm hari<sup>-1</sup>),
- $\Delta$  : slope kurva tekanan uap (kPa°C<sup>-1</sup>),
- Rn : radiasi netto (MJ m<sup>-2</sup>hari<sup>-1</sup>),
- G : fluks bahang tanah (Wm<sup>-2</sup>),
- ( $e_s - e_a$ ): defisit tekanan uap udara,
- $\rho_a$  : kerapatan udara rata-rata pada tekanan konstan,
- $\gamma$  : konstanta psikometrik (kPa°C<sup>-1</sup>),
- $C_p$  : kapasitas panas spesifik udara pada tekanan konstan (1,013x 10<sup>-3</sup> MJ kg<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>),
- $r_a$  : tahanan aerodinamik (s m<sup>-1</sup>), dan  $r_s$  merupakan hambatan kanopi (s m<sup>-1</sup>). Menurut Oke (2010)  $r_a$  dan  $r_s$  berbeda tiap tutupan lahan.

Fluks bahang tanah (G-Wm<sup>-2</sup>) dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal tanah dan perubahan suhu tanah menurut kedalaman (Hillel, 1998; Castelli *et al.*, 1999; Sauer and Horton, 2005; Gentine *et al.*, 2012). G dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2):

$$G = -k \left( \frac{dT}{dz} \right) \quad (2-2)$$

Dimana,

- k : konduktivitas termal tanah gambut (Wm<sup>-1</sup> °C),
- dT: perubahan suhu (°C) menurut kedalaman, dan

dz : perubahan kedalaman (m).

Oleczuk *et al.*, 2010 menyebutkan bahwa jumlah air yang tersimpan di dalam vegetasi lebih dari 30% cadangan air dalam suatu ekosistem, sedangkan Hero (2010) menyebutkan vegetasi ekosistem lahan gambut mengandung kadar air sekitar ± 42% dari bobot basahnya. Oleh karenanya, jumlah cadangan air di vegetasi dapat diketahui dengan parameter biomassa yang dihitung dengan persamaan alometrik (2-3). Pendugaan biomassa vegetasi menggunakan persamaan alometrik untuk ekosistem lahan basah (Krisnawati *et al.*, 2012):

$$Biomass = 0,19999 \cdot D^{2,14} \quad (2-3)$$

### 2.4 Analisis Data Satelit

Pengolahan data satelit digunakan untuk mendapatkan data klasifikasi tutupan lahan, luas tutupan lahan, dan parameter fisik seperti suhu permukaan (Ts), suhu udara (Ta), radiasi netto (RN), fluks bahang tanah (G), fluks bahang teras (H) dan fluks bahang laten (LE), dan biomassa. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan metode klasifikasi terbimbing dengan menggunakan kombinasi band 653. Penurunan parameter fisik dimulai dengan mengubah nilai *digital number* (DN) menjadi nilai *spectral radiance* (L<sub>λ</sub>). menggunakan persamaan (USGS, 2016):

$$L_{\lambda} = \left[ \frac{L_{max} \cdot L_{min}}{QCAL_{max} \cdot QCAL_{min}} \right] \times (QCAL \cdot QCAL_{min}) + L_{min} \quad (2-4)$$

Dimana,

- L<sub>λ</sub> : *spectral radiance* pada kanal ke-i (Wm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>μ<sup>-1</sup>),
- QCAL: nilai *digital number* kanal ke-i,
- L<sub>min</sub> nilai minimum *spectral radiance* kanal ke-i dan L<sub>max</sub> nilai maksimum *spectral radiance* kanal ke-i

Nilai-nilai spektral *radiance* ini dikonversi menjadi suhu kecerahan ( $T_b$ , Kelvin) yang menunjukkan intensitas radiasi termal yang diemisikan oleh obyek. Nilai  $T_b$  ini berkorelasi suhu fisik permukaan obyek di bumi (Khomarudin 2005). Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2-5 (USGS, 2016), dengan memasukkan nilai konversi thermal kanal-i dari metadata, yaitu  $K1$  dan  $K2$ :

$$T_b = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2-5)$$

$$T_s = \frac{T_b}{\left(1 + \frac{\lambda T_b}{\delta} \ln \varepsilon\right)} \quad (2-6)$$

Suhu permukaan ( $T_s$ ) obyek dihitung dari  $T_b$  (2-6), dengan parameter-parameter  $\lambda$  panjang gelombang kanal termal-i ( $\mu\text{m}$ ),  $\delta$  fungsi radiasi ( $\delta = hc/\sigma$  ( $1,438 \times 10^{-2}$  mK)),  $h$  Konstanta Planck ( $6,26 \times 10^{-34}$  J sec),  $c$  kecepatan cahaya ( $2,998 \times 10^8$  m sec<sup>-1</sup>),  $\sigma$  Konstanta Stefan Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  JK<sup>-1</sup>),  $\varepsilon$  emisivitas obyek.

Radiasi netto ( $R_n$ ) adalah selisih antara radiasi gelombang pendek matahari dan gelombang panjang yang datang ke permukaan obyek di bumi dengan gelombang pendek dan gelombang panjang yang meninggalkan permukaan obyek (2-7).

$$R_n = R_s(in) - R_s(out) + R_l(in) - R_l(out) \quad (2-7)$$

$$R_n = (1 - \alpha)R_s in + \varepsilon_a \sigma T_a^4 \cdot 0.7(1 + 0.7N^2) - \varepsilon \sigma T_s^4$$

Dimana,

- $R_s$ : radiasi gelombang pendek ( $\text{Wm}^{-2}$ ),
- $R_l$  : radiasi gelombang panjang ( $\text{Wm}^{-2}$ ),
- $\alpha$  : albedo permukaan,
- $T_a$ : suhu udara (K),
- $\varepsilon_a$  : emisivitas udara,
- $\varepsilon$  : emisivitas permukaan, faktor keawanan (%).

Radiasi gelombang pendek yang dipantulkan oleh permukaan ( $R_s$  out), dapat diduga dari sensor satelit yang menerima panjang gelombang pendek, yaitu kanal 4, 3, dan 2. Sementara itu, nilai  $R_s$  (in) dapat dihitung setelah diketahui nilai  $\alpha$  (USGS, 2016) (2-8) dengan mengetahui jarak astronomi bumi-matahari ( $d$ ) sebagai fungsi hari Julian (JD) (2-9), rata-rata nilai solar *spectral irradiance* pada *band* tertentu (ESUN), *spectral radiance* ( $L\lambda$ -kanal 4, 3 dan 2), dan sudut zenit matahari ( $\cos \theta$ ).

$$\alpha = \frac{\pi \cdot L\lambda \cdot d^2}{ESUN \cdot \cos \theta} \quad (2-8)$$

$$d^2 = (1 - 0.01674 \times \cos(0.9856(JD - 4)))^2 \quad (2-9)$$

Seluruh hasil perhitungan nilai radiasi mempunyai unit  $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$  sehingga perlu dikonversi menjadi satuan  $\text{Wm}^{-2}$ , dengan persamaan  $E = \pi \cdot d^2$

Nilai  $G$  dari LANDSAT 8 menurut Allen *et al.*, (2001) dihitung berdasarkan nilai  $R_n$ ,  $\alpha$ ,  $T_s$ , dan NDVI (2-10):

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (2-10)$$

Fluks bahang terasa ( $H$ ) adalah jumlah  $R_n$  yang digunakan untuk memanaskan udara, yang dapat dihitung dengan persamaan  $R_n = H + G + \lambda E$  dan nilai *bowen ratio*  $\beta = \frac{H}{\lambda E}$ . Fluks bahang laten ( $\lambda E$ ) adalah nilai  $R_n$  yang digunakan proses penguapan dari permukaan bumi.

Biomassa diduga dari spektral radians gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang pendek infra merah yang dipantulkan permukaan (*Shortwave Infra Red-SWIR*). Avitabile, (2012); Baccini, (2012) menunjukkan kemampuan SWIR untuk mengestimasi biomassa. Fakhrol dan Risdiyanto (2015) mengembangkan algoritma pendugaan biomassa di lahan basah dengan *band* 6

(1,57-1,65  $\mu\text{m}$ ) dari data satelit LANDSAT 8 (2-11).

$$\text{Biomassa} = 116849e^{-0.638 LA} \quad (2-11)$$

## 2.5 Analisis Korelasi Data Lapang dengan Data Satelit

Analisis korelasi dilakukan dengan metode regresi untuk mengetahui hubungan parameter hasil pengukuran lapangan dengan hasil analisis citra satelit LANDSAT 8 (Lefsky *et al.*, 2005; Saleh and Hasan, 2014; Jin *et al.*, 2015). Parameter yang dihubungkan adalah nilai RH, G, dan biomassa. Hubungan kuat atau korelasi yang tinggi ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) yang hampir mendekati +1 atau -1, sedangkan korelasi yang lemah ditunjukkan oleh nilai ( $r$ ) mendekati nol (Siregar 2012).

## 3 HASIL PEMBAHASAN

### 3.1 Karakteristik Mikrometeorologi

Hutan sekunder di lahan gambut memiliki tingkat kerapatan vegetasi lebih tinggi dibandingkan dengan belukar dan semak. Ukuran tegakan pohon beragam antara 5 cm - 50 cm dengan tinggi pohon mencapai lebih dari 20 meter. Area belukar didominasi tanaman prepat dengan tinggi pohon berkisar antar 2 m-10 m dengan diameter maksimum 20 cm dan ilalang dengan tinggi  $\pm 1$  m. Area semak hampir tidak ada tegakan pohon, area ini ditumbuhi tanaman bawah seperti paku-pakuan, kerisan, pulai, dan lainnya dengan tingkat kerapatan yang cukup rendah. Kondisi ini menyebabkan perbedaan parameter-parameter iklim mikro (Gambar 3-1).

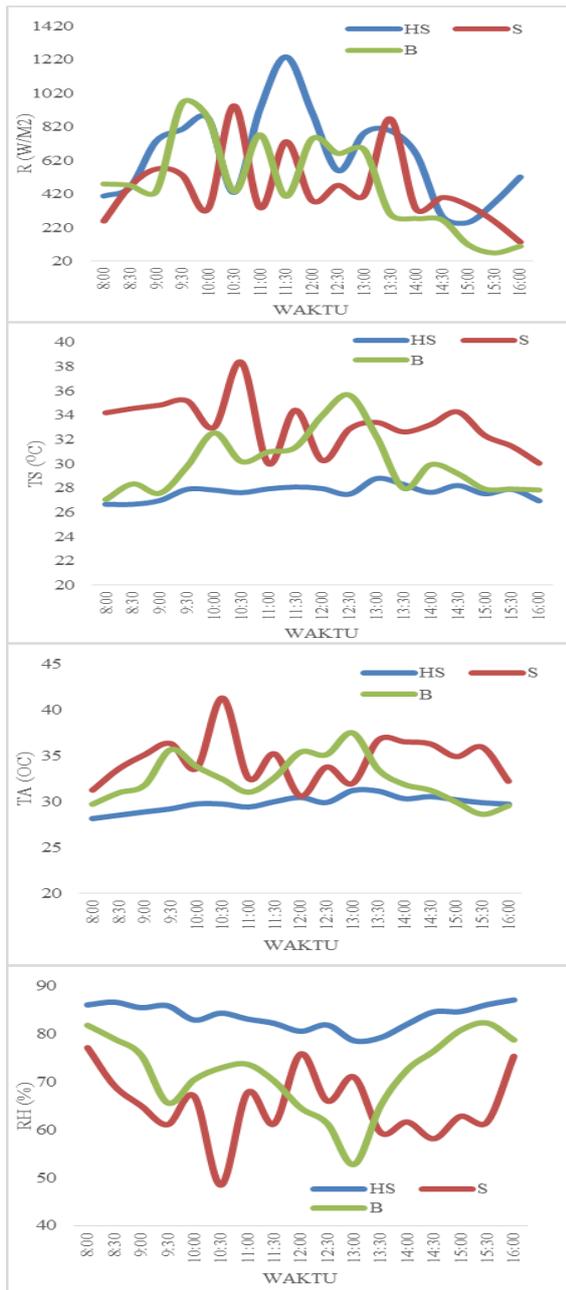
Perbedaan tinggi dan kerapatan vegetasi di hutan sekunder menyebabkan radiasi yang sampai ke permukaan lebih sedikit dibandingkan dengan belukar dan semak, sehingga kondisi dalam tutupan lahan menjadi lebih basah

karena jumlah uap air yang tinggi. Dibandingkan dengan belukar dan semak, kondisi suhu udara dan suhu permukaan selalu lebih rendah, hal ini disebabkan oleh kanopi hutan yang menghalangi masuknya radiasi sampai ke permukaan, sehingga proses penguapan di permukaan tidak maksimal. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Maryati (2014), hutan rawa gambut memiliki rata-rata suhu kurang dari 30° C dan kelembaban rata-rata diatas 90%

### 3.2 Kelembaban Udara (RH) dan Evapotranspirasi (ET)

Jumlah uap air di udara dinyatakan sebagai kelembaban relatif ( $RH = (ea/es)\%$ ) yang merupakan fungsi dari tekanan uap aktual ( $ea$ ) dan tekanan uap jenuh ( $es$ ). Semakin rapat vegetasi menunjukkan bahwa nilai RH juga tinggi (Gambar 3-2), hal ini sama dengan yang dilaporkan oleh Wang *et al.*, (2012). Menurut Oke (1977) semakin tinggi kandungan uap air di udara maka proses penguapan yang terjadi melalui evapotranspirasi semakin tinggi, karena ada peningkatan  $ea$ . Namun demikian, hubungan antara RH dan ET yang diukur di lapangan menunjukkan korelasi negatif. Pengukuran nilai RH dilakukan pada ketinggian 1,2 meter menunjukkan bahwa yang terukur adalah uap air di bawah kanopi, terutama di tutupan lahan HS.

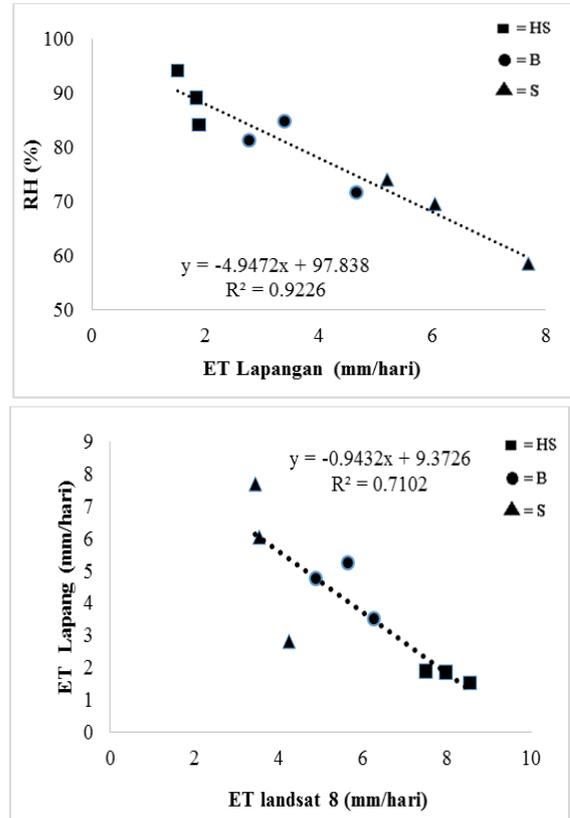
Pendugaan ET dengan data satelit menunjukkan bahwa semakin rapat tutupan vegetasi menunjukkan ET yang semakin rendah. Hasil ini mirip dengan McCabe dan Wood (2006); Liu *et al.*, (2010) yang menyebutkan area-area basah dan berhutan mempunyai nilai evapotranspirasi yang lebih tinggi, karena faktor ketersediaan air. Duffkova (2006) menyebutkan bahwa nilai defisit tekanan uap akan menurun dengan kenaikan suhu udara.



Gambar 3-1: Grafik hasil pengukuran parameter mikrometeorologi (a) radiasi, (b) suhu permukaan, (c) suhu udara, dan (d) kelembaban udara

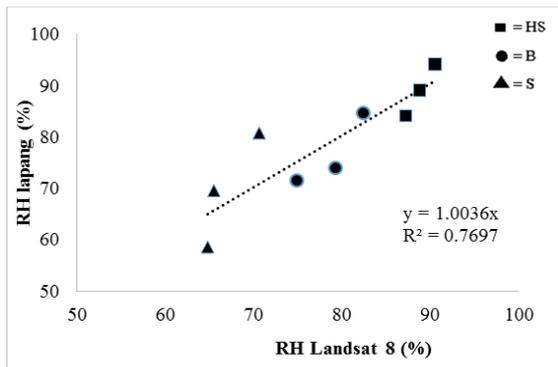
Hal ini menyebabkan nilai kelembaban di areal yang lebih terbuka juga rendah. Jika hasil ini dikorelasikan dengan hasil perhitungan ET data lapangan untuk setiap tutupan lahan, maka akan menghasilkan korelasi yang negatif (Gambar 3-2). Persamaan korelasi antara ET lapangan dengan hasil dugaannya di setiap tutupan lahan

menunjukkan hubungan yang sistematis dengan  $R^2 = 0,71$ . Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai kelembaban di bawah kanopi, persamaan tersebut masih dapat digunakan.



Gambar 3-2: Hubungan antara kelembaban relatif (RH) dengan evapotranspirasi di lapangan (ET) (atas) dan Hubungan antara ET perhitungan data lapangan dengan ET pendugaan data satelit (bawah)

RH yang diduga dari persamaan hubungan antara ET perhitungan data lapangan dengan nilai dugaan data satelit menunjukkan kelembaban di tutupan lahan HS lebih tinggi dibandingkan di B dan S. Hasil ini mirip dengan pengukuran RH di lapangan. Hubungan antara keduanya mempunyai korelasi yang kuat ( $R^2=0.77$ ) (Gambar 3-3). Oleh karenanya, data satelit dapat digunakan untuk menduga nilai RH dengan terlebih dahulu mengetahui nilai ET.)



Gambar 3-3: Hubungan antara RH pendugaan satelit dengan RH lapangan.

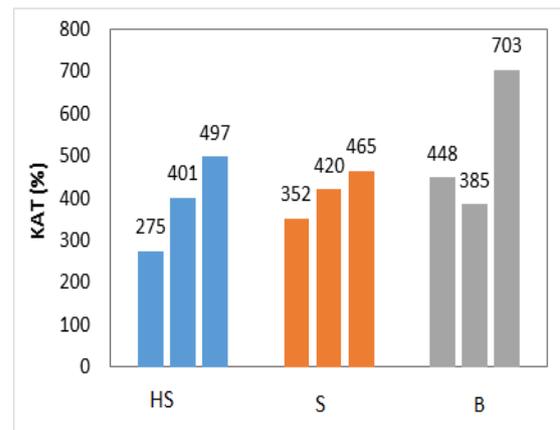
### 3.3 Kadar Air Tanah (KAT) dengan Fluks Bahang Tanah (G)

Nilai KAT tertinggi selama pengamatan terdapat pada tutupan lahan B dengan kadar air sebesar 703 % bobot kering, dan yang terendah pada HS sebesar 275 % bobot kering (Gambar 3-4). Menurut Mutalib (1991); Campos *et al.* (2011) kadar air tanah gambut berkisar antara 100-1.300 % dari berat keringnya, artinya bahwa tanah gambut mampu menyerap air 13 kali bobot keringnya. Perbedaan tinggi muka air di ketiga tutupan lahan pada saat pengamatan menunjukkan untuk HS berkisar antara 40-50 cm, B adalah 40-50 cm dan S adalah 35-40 cm. Ketebalan gambut di setiap tutupan lahan rata-rata adalah 300 cm. Ketebalan gambut dan tinggi muka air sebenarnya adalah faktor penting dalam pendugaan KAT gambut (Bourgault *et al.*, 2017).

Namun dalam penelitian ini, faktor tersebut tidak diperhitungkan dengan asumsi bahwa data satelit hanya dapat menggambarkan kondisi permukaan setiap tutupan lahan.

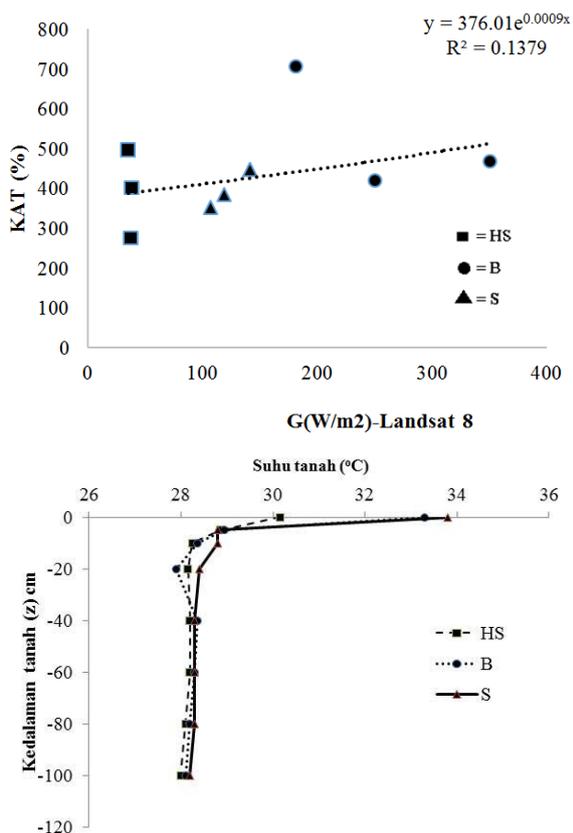
Rata-rata konduktivitas termal air adalah 25 kali lebih besar daripada udara pada suhu normal (Stull, 1995). Konduktivitas termal memiliki hubungan positif dengan jumlah air, semakin banyak jumlah air maka energi/bahang yang ditransfer semakin cepat (Omar dan Farouki, 1981)). Dalam penelitian ini,

jumlah air yang ada di dalam tanah (KAT) sampai dengan kedalaman 100 cm tidak menunjukkan hubungan yang kuat dengan pemanasan tanah (G) yang diperoleh dari data satelit (Gambar 3-5). Hal ini disebabkan sebagian besar komponen di lahan gambut adalah air, sehingga pemanasan permukaan lahan gambut sampai dengan kedalaman tertentu lebih dominan proses konveksi dibandingkan dengan proses konduksi.



Gambar 3-4: Grafik hasil pengukuran KAT di hutan sekunder (HS), belukar (B) dan semak (S)

Hasil lapangan juga menunjukkan bahwa perbedaan suhu tanah yang paling signifikan hanya terjadi pada permukaan sampai dengan kedalaman 20 cm. Sedangkan pada kedalaman 20-100 cm, suhu cenderung stabil. Hal ini indikasi bahwa pemanasan tanah melalui proses konduksi hanya terjadi sampai dengan kedalaman 20 cm. Sehingga nilai G yang dihitung dari data satelit juga tidak dapat menjelaskan perpindahan panas untuk seluruh kedalaman gambut. Oleh karenanya, jumlah air di lahan gambut tidak bisa dihitung dengan menggunakan data LANDSAT, terutama jika menggunakan nilai G yang diduga dengan suhu permukaan dan NDVI.



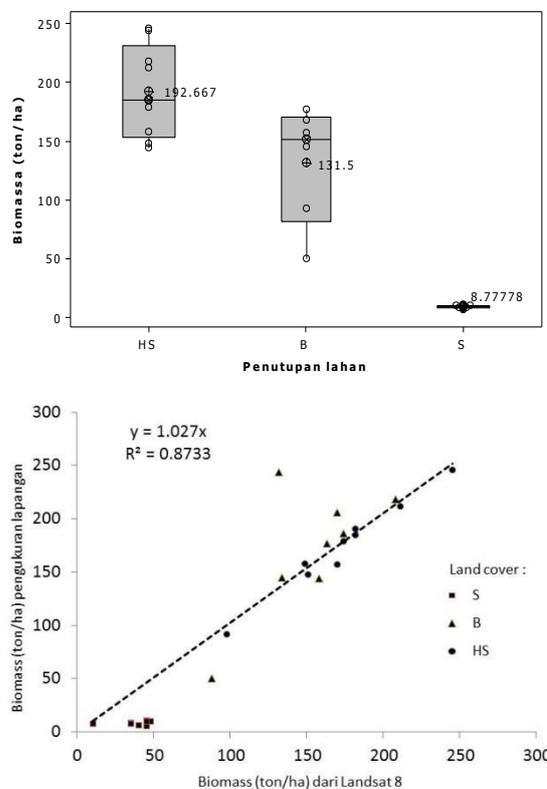
Gambar 3-5: Regresi G dengan KAT hasil pengamatan lapangan (atas) dan hasil pengamatan suhu tanah (bawah)

### 3.4 Biomass dan Kadar Air di Dalam Vegetasi

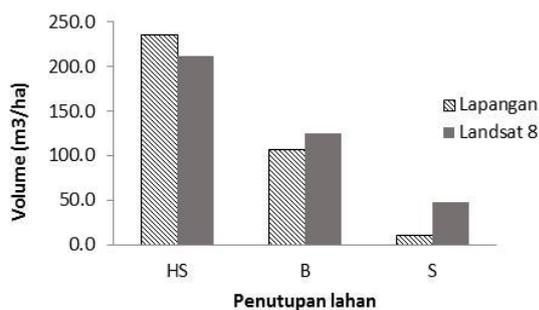
Biomassa hasil pengukuran lapangan menurut tutupan lahan menunjukkan di HS adalah 192,7 ton/ha, B adalah 131,5 ton/ha dan S adalah 8,7 ton/ha (Gambar 3-6). Hasil ini digunakan untuk memvalidasi pendugaan nilai biomassa dari data satelit (Gambar 3-6). Validasi pendugaan biomassa dari data LANDSAT 8 dengan biomassa pengukuran di lapangan menunjukkan hubungan yang kuat ( $R^2=0,87$ ). Penutupan lahan HS mempunyai hubungan yang paling kuat dibandingkan dengan B dan S. Hal ini dapat disebabkan oleh variasi tegakan dan bentuk permukaan kanopi di setiap tutupan lahan yang lebih homogen, yang berpengaruh terhadap pemantulan gelombang elektromagnetik pendek. Hasil ini menunjukkan bahwa data

satelit LANDSAT 8 (*band* 6) dapat digunakan untuk menduga biomass di setiap tutupan lahan.

LANDSAT 8 menduga kandungan air yang lebih tinggi di tutupan lahan B dan S, sedangkan di HS lebih rendah (Gambar 3-7). Struktur tegakan vegetasi, bentuk permukaan dan pengaruh kebasahan tanah gambut di bawah kanopi menjadi faktor-faktor yang menyebabkan kadar air di B dan S menjadi lebih tinggi. Pantulan spectral radian SWIR di kedua tempat tersebut adalah hasil komposit dari vegetasi dan tanah gambut yang basah pada piksel berukuran 30x30 m<sup>2</sup>. Pengaruh ini lebih jelas pada tutupan lahan S, yang sebagian besar adalah vegetasi herba dan vegetasi bawah berdiameter < 2 cm. Di tutupan HS, dengan struktur tegakan yang lebih homogeny dan jarak permukaan tanah dengan kanopi yang lebih tinggi, pengaruh tanah gambut yang basah lebih kecil.



Gambar 3-6: Box plot hasil pengukuran biomassa di lapangan (atas) dan regresinya dengan hasil dugaan LANDSAT 8



Gambar 3-7: Volume air (m<sup>3</sup>/ha) yang tersimpan di dalam vegetasi menurut tutupan lahan

#### 4 KESIMPULAN

Di antara tiga obyek yang menunjukkan keberadaan jumlah air di lahan gambut, yang dapat diduga nilainya adalah air di udara di atas permukaan lahan dan di dalam vegetasi. Hal ini digambarkan dengan penilaian data satelit terhadap kelembaban udara dan biomassa. Sedangkan jumlah air di dalam tanah gambut tidak dapat diduga dengan data satelit yang hanya menunjukkan kondisi kelembaban secara kualitatif dengan pernyataan kering-basah. Dengan demikian, estimasi pendugaan jumlah air di ekosistem lahan gambut dengan data satelit hanya dapat dilakukan di atas permukaan.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis sampaikan ucapan terimakasih kepada manajemen dan karyawan PT BSS dan PT Aksenta yang telah menyediakan lokasi untuk penelitian lapangan dan aktif membantu selama penelitian, kepada Tim Redaksi Jurnal Penginderaan Jauh, dan kepada seluruh pihak yang turut membantu penulis selama penelitian yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

#### DAFTAR RUJUKAN

Allen R.G, Morse A., Tasumi M., Bastiaansen W., Kramber W., and Anderson H., 2001. *Evapotranspiration from LANDSAT (SEBAL) for Water Right Management and Compliance with Multi-State water*

*Compacts*. University of Idaho Kimberly, ID 83341.

- Amenu, G.G., P., Kumar, and X. Z., Liang, 2005. *Interannual variability of Deep-Layer Hydrologic Memory and Mechanisms of its Influence on Surface Energy Fluxes*, J. Clim., 18, 5024–5045, doi:10.1175/JCLI3590.1.
- Avitabile, V., Baccini, A., Friedl, M.A., and Schmullius, C., 2012. *Capabilities and Limitations of LANDSAT and Land Cover Data for Aboveground Woody Biomass Estimation of Uganda*. Remote Sens. Environ. 117, 366–380.
- Baccini, A., Goetz, S.J., Walker, W.S., Laporte, N.T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hackler, J., Beck, P.A., Dubayah, R., and Friedl, M.A., 2012. *Estimated Carbon Dioxide Emissions from Tropical Deforestation Improved by Carbon-Density Maps*. Nat. Clim. Chang. Vol. 2, 182–185.
- BB Litbang SDLP (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2008. *Laporan Tahunan 2008, Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Bourgault, M.A., Larocque, M., and Garneau, M., 2017. *Quantification of Peatland Water Storage Capacity Using the Water Table Fluctuation Method*. Hydrological Process. Vol. 31, Issue 5 1184–1195.
- Bullock A., and Acreman M., 2003. *The Role of Wetlands in the Hydrological Cycles*. Hydrology and Earth System Sciences, 7, (3), 358.
- Campbell D.I., Laybourn C.E., Ian J.B., 2002. *Measuring Peat Moisture Content Using the Dual-Probe Heat Pulse Technique*. Soil Research 40, 177-190. <https://doi.org/10.1071/SR00108>.
- Castelli, F., Entekhabi, D., and Caporali, E., 1999. *Estimation of Surface Heat Flux and an Index of Soil Moisture Using*

- Adjoint-state Surface Energy Balance*. Water Resources Research, Vol. 35, No. 10, 3115-3125.
- Chambers, F.M., Beilman, D.W., and Yu, Z., 2010. *Methods for Determining Peat Humification and for Quantifying Peat Bulk Density, Organic Matter and Carbon Content for Palaeostudies of Climate and Peatland Carbon Dynamics*. Mires and Peat, Volume 7 (2010/11), Article 07, 1-10, <http://www.mires-and-peat.net/>.
- Chan, S., Bindlish, R., Hunt, R., Jackson, T., and Kimball, J., 2013. *Vegetation Water Content-Ancillary Data Report-Preliminary v.1* SMAP Science Document no. 047. JPL D-53061. California Institute of Technology.
- da Rocha Campos, J.R., Silva, A.C., Fernandes, J.S.C., Ferreira, M.M., and Silva, D.V., 2011. *Water Retention in a Peatland With Organic Matter In Different Decomposition Stages*. R. Bras. Ci. Solo, 35:1217-1227.
- Dharmawan, I.W.S., 2014. *Persamaan Alometrik dan Cadangan Karbon Vegetasi pada Hutan Gambut Primer dan Bekas Terbakar (Allometric Equation and Vegetation Carbon Stock at Primary and Burnt Peat Forest)*. Jurnal penelitian hutan dan konservasi alam. Vol. 10 No. 2: 175-191.
- DOI: 10.1002/hyp.11116.  
doi:10.1029/2000JD900051.  
Doi:10.1029/2005gl023971.  
doi:10.1029/2008JD009807.  
doi:10.1088/1755-1315/33/1/012040.  
doi:10.1111/j.1365-2389.1992.tb00115.x.  
doi:10.4172/2169-0049.1000120.
- Duffkova, R., 2006. *Difference in Canopy and Air Temperature as an Indicator of Grassland Water Stress*. Soil & Water Res., 1, 2006 (4): 127-138.
- Emrich A., Pokorny B., Sepp C., 2000. *The Significance of Secondary Forest Management for Development Policy*. Eschborn. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Entin, J., A., Robock, K. Y., Vinnikov, S. E., Hollinger, S., Liu, and A., Namkai, 2000. *Temporal and Spatial Scales of Observed Soil Moisture Variations in the Extratropics*. J. Geophys. Res., 105, 11,865 – 11,877.
- Fakhrul M., dan Risdiyanto I., 2015. *Analisis Spektral Citra Satelit LANDSAT 8 untuk Menduga Simpanan Karbon Biomassa di Hutan Dataran Rendah*. [skripsi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Gentine, P., Enkhabi, D., and Heusinkveld, B., 2012. *Systematic Errors in Ground Heat Flux Estimation and their Correction*. Water Resources Research, Vol. 48, W09541, doi:10.1029/2010wr010203, 2012.
- Grand-Clement, E., et al, 2015. *New Approaches to the Restoration of Shallow Marginal Peatlands*. Journal of Environmental Management. xxx (2015) 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.023>.
- Hairiah K., and Rahayu S., 2007. *Pengukuran 'Karbon Tersimpan' di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor. World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia. 77.
- Hashimoto, T., Tange, T., Masumori, M., Yagi, H., Sasaki, S., and Kojima, K., 2004. *Allometric Equations for Pioneer Tree Species and Estimation of Aboveground Biomass of a Tropical Secondary Forest in East Kalimantan*. Tropics 14(1): 123-130.
- Hero, B., Ayu, N., Manuri, S., dan Istomo, 2010. *Pendugaan Biomassa dan Potensi Karbon Terikat di Atas Permukaan Tanah pada Hutan Rawa Gambut Bekas Terbakar di Sumatera Selatan*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. ISSN. 15(1):41-49.

- Hillel, G., 1998. *Remote Sensing of Vegetation: Principle, techniques, and Application*. Oxford university press.
- Hirschi M., Mueller B., Dorigo W., Seneviratne, S.I., 2014. *Using Remotely Sensed Soil Moisture for Land-Atmosphere Coupling Diagnostics: the Role of Surface Vs. Root-Zone Soil Moisture Variability*. *Remote Sensing of Environment* 154, 246–252.
- Honkavaara, E., Eskelinen, M.A., Pölonen, I., Saari, H., Ojanen, H., Mannila, R., Holmlund, C., Hakala, T., Litkey, P., Rosnell, T., Viljanen, N., and Pulkkanen, M., 2016. *Remote Sensing of 3-D Geometry and Surface Moisture of a Peat Production Area Using Hyperspectral Frame Cameras in Visible to Short-Wave Infrared Spectral Ranges Onboard a Small Unmanned Airborne Vehicle (UAV)*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, No. 9 (5440-5454).
- Iriana, W., Tonokura, K., Kawasaki, M., Inoue, G., Kusin, K., and Limin, S.H., 2016. *Measurement of Carbon Dioxide Flux from Tropical Peatland in Indonesia Using the Nocturnal Temperature-Inversion Trap Method*. *Environ. Res. Lett.* 11, doi:10.1088/1748-9326/11/9/095011.
- Jin, X., Ma J., Wen, Z., and Song, K., 2015. *Estimation of Maize Residue Cover Using LANDSAT-8 OLI Image Spectral Information and Textural Features*. *Remote Sens.* 2015, 7, 14559-14575; doi:10.3390/rs71114559.
- Joosten H., Clarke D., 2002. *Wise use of Mires and Peatlands: Background and Principles Including a Framework for Decision-Making*. International Mire Conservation Group and International Peat Society. Saarijärvi, Finland. 304.
- Kasischke, E.S, Bourgeau-Chavez, L.L, Rober, A.R, Wyatt, K.H., Waddington, J.M., Turetsky, M.R., 2009. *Effects of Soil Moisture and Water Depth on ERSSAR Backscatter Measurements from an Alaskan Wetland Complex*. *Remote Sensing of Environment*. 113 (2009): 1868-1873.doi:10.1016/j.rse.2009.04.006.
- Kettridge, N., Turetsky, M.R., Sherwood, J.H., Thompson, D.K., Miller, C.A., Benscoter, B.W., Flannigan, M.D., Wotton, B.M., Waddington, J.M., 2015. *Moderate Drop in Water Table Increases Peatland Vulnerability to Post-Fire Regime Shift*. *Scientific Reports*. <http://dx.doi.org/10.1038/srep08063>.
- Khomarudin, M.R., Bey, A., dan Risdiyanto, I., 2005. *Identifikasi Neraca Energi di Beberapa Penggunaan Lahan untuk Deteksi Daerah Potensi Kekeringan di Surabaya, Gresik, dan Sidoarjo*. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*. Surabaya.
- Kramarenko, V.V., Nikitenkov, A.N., Molokov, V.Y., Shramok, A.V., and Pozdeeva, G.P., 2015). *Application of Microwave Method for Moisture Determination of Organic and Organic-Mineral Soils*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 33 (2016) 012040.
- Krankina, O.N., Pflugmacher, D., Friedl, M., Cohen, W.B., Nelson, P., and Baccini, A., 2008. *Meeting the Challenge of Mapping Peatlands with Remotely Sensed Data*. *Biogeosciences*, 5, 1809–1820, 2008.
- Krisnawati, H., W.C. Adinugroho dan R., Imanuddin, 2012. *Monograph: Allometric Models for Estimating Tree Biomass at Various Forest Ecosystem Types in Indonesia*. Research and Development Center for Conservation and Rehabilitations, Forest Research and Development Agency, Bogor, Indonesia.
- Lefsky, MA., Harding DJ., Keller, M., Cohen, WB., Carabajal, CC., Espirito-Santo, FB., Hunter, MO., and Oliveira Jr, R., 2005. *Estimates of Forest Canopy Height and Aboveground Biomass Using*

- ICESat. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L22s02.
- Liu, W., Hong, Y., Khan, SI., Huang, M., Vieux, B., Caliskan, S., and Grout, T., 2010. *Actual Evapotranspiration Estimation for Different Land use and Land Cover in Urban Regions Using LANDSAT 5 Data*. *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 4, 041873. DOI: 10.1117/1.3525566.
- Malingreau, Jean-Paul, 1981. *A Land Cover Classification for Indonesia. The Indonesian Journal of Geography*. Faculty of Geograpy. Gadjah Mada University. 11 (41):13-50.
- McCabe, M.F. and Wood, E.F., 2006. *Scale Influences on the Remote Estimation of Evapotranspiration Using Multiple Satellite Sensors*. *Remote Sensing of Environment* 105 (2006) 271–285. doi: 10.1016/j.rse.2006.07.006.
- Meingast, K.M., Falkowski, M.J., Kane, E.S., Potvin, L.R., Benschoter, B.W., Smith, A.M.S., Bourgeau-Chavez, L.L., Miller, M.E., 2014. *Spectral Detection of Near-Surface Moisture Content and Water-Table Position in Northern Peatland Ecosystems*. *Remote Sensing Of Environment* 152 (2014) 536–546. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.014> 0034-4257.
- Middleton, M., Närhi, P., Arkimaa, H., Hyvönen, E., Kuosmanen, V., Treitz, P., and Sutinen, R., 2012. *Ordination and Hyperspectral Remote Sensing Approach to Classify Peatland Biotopes Along Soil Moisture and Fertility Gradients*. *Remote Sensing of Environment*, Vol.124, 596-609, ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.010>.
- Mutalib AA, Lim JS, Wong MH dan Koonvai L., 1991. *Characterization, Distribution and Utilization of Peat in Malaysia*. Proc. International Symposium on tropical peatland. 6-10 May 1991, Kuching, Serawak, Malaysia.
- Noborio, K., 2001. *Measurement of Soil Water Content and Electrical Conductivity by Time Domain Reflectometry: a Review*. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.1, Issue 3, pp 213-237, ISSN 0168-1699, [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00184-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00184-8).
- Oke TR., 1978. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Co Ltd.
- Omar T., and Farouki, 1981. *Thermal Properties of Soils*. United States Army Corps Of Engineers Cold Regions Research And Engineering Laboratory. Hanover, New Hampshire, U.S.A.
- Petropoulos G.P, Griffiths H.M, Dorigo W, Xaver A., and Gruber A., 2014. *Surface Soil Moisture Estimation: Significance, Controls, and Conventional Measurement Techniques*. *Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content*. Book Chapter 2: 29-47.
- Querner, E.P., Mioduszewski, W., Povilaitis, A., Ślesicka, A., 2010. *Modelling Peatland Hydrology: Three Cases from Northern Europe*. *Polish J. of Environ. Stud*, Vol. 19, No.1, 149-159.
- Roth, C.H., Malicki, M.A., Plagge, R., 1992. *Empirical Evaluation of the Relationship Between Soil Dielectric Constant and Volumetric Water Content as the Basis for Calibrating Soil Moisture Measurements by TDR*. *Journal of Soil Science*, 43: 1–13.
- Saleh S.A.H., & Hasan, G., 2014. *Estimation of PM10 Concentration Using Ground Measurements and LANDSAT 8 OLI Satellite Image*. *J Geophys Remote Sens* 3:120.
- Sauer, T.J and Horton, R., 2005. *Soil Heat Flux*. Publications from USDA-ARS/ UNL Faculty. 1402. <http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1402>.
- Schlotzhauer, S.M., and Price, J.S., 1999. *Soil Water Flow Dynamics in a Managed Cutover Peat Field, Quebec: Field and Laboratory Investigations*. Water

- Resources Research, vol. 35, no. 12, 3675–3683.
- Shien, P.T., Seneviratne, H.N. and Ismail, A.D.S., 2011. *A Study on Factors Influencing the Determination of Moisture Content of Fibrous Peat*. UNIMAS E-Journal of Civil Engineering, Vol. 2 (2), 39-47.
- Stull RB., 1995. *Meteorology Today for Scientist and Engineers, a Technical Compinion Book*. USA: West Publishing Company.
- U.S. Geological Survey, 2016. *LANDSAT 8 (L8) Data Users Handbook*. LSDS-1574 Version 2.0.
- Wang, S., Fu, B.J., Gao, G.Y., Yao, X.L. and Zhou, J., 2012. *Soil Moisture and Evapotranspiration of Different Land Cover Types in the Loess Plateau, China*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 2883–2892.doi:10.5194/hess-16-2883-2012.
- Wu, W., & Dickinson, R.E., 2004,). *Time Scales of Layered Soil Moisture Memory in the Context of Land-Atmosphere Interaction*. J. Clim., 17, 2752 – 2764, doi:10.1175/1520-0442(2004)0172.0.
- Zhang, J., W.-C. Wang, and J., Wei, 2008. *Assessing Land-Atmosphere Coupling Using Soil Moisture from the Global Land Data Assimilation System and Observational Precipitation*. J. Geophys. Res., 113, D17119,

# **ESTIMASI PRODUKTIVITAS PRIMER PERAIRAN BERDASARKAN KONSENTRASI KLOROFIL-A YANG DIEKSTRAK DARI CITRA SATELIT LANDSAT-8 DI PERAIRAN KEPULAUAN KARIMUN JAWA (ESTIMATION OF SEA PRIMARY PRODUCTIVITY BASED ON CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION DERIVED FROM SATELLITE LANDSAT-8 IMAGERY IN KARIMUN JAWA ISLAND)**

**Mulkan Nuzapril<sup>1\*\*</sup>, Setyo Budi Susilo<sup>\*\*</sup>, James P. Panjaitan<sup>\*\*</sup>,**

**<sup>\*)</sup>Program Studi Teknologi Kelautan, FPIK, IPB, Bogor**

**<sup>\*\*</sup>)Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK IPB, Bogor**

**Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Dermaga, Bogor Indonesia**

**<sup>1</sup>email: mnuzapril@gmail.com**

**Diterima 6 Februari 2017; Direvisi 18 Agustus 2017; Disetujui 28 Agustus 2017**

## **ABSTRACT**

Sea primary productivity is an important factor in monitoring the quality of sea waters due to his role in the carbon cycle and the food chain for heterotrophic organisms. Estimation of sea primary productivity may be suspected through the values of chlorophyll-a concentration, but surface chlorophyll-a concentration was only able to explain 30% of the primary productivity of the sea. This research aims to build primary productivity estimation model based on chlorophyll-a concentration value of a surface layer of depth until depth compensation. Primary productivity model of relationships with chlorophyll concentration were extracted from Landsat-8 imagery then it could be used to calculated of sea primary productivity. The determination of the depth classification were done by measuring the attenuation coefficient values using the *luxmeter underwater datalogger 2000* and *secchi disk*. The attenuation coefficient values by the *luxmeter underwater*, ranges between of 0.13-0.21 m<sup>-1</sup> and *secchi disk* ranged, of 0.12 – 0.21 m<sup>-1</sup>. The penetration of light that through into the water column where primary productivity is still in progress or where the depth of compensation ranged from 28.75 – 30.67 m. The simple linier regression model between average value of chlorophyll-concentration in all euphotic zone with sea primary productivity has high correlation, it greater than of surface chlorophyll-a concentration (R<sup>2</sup> = 0.65). Model validation of sea primary productivity has high accuracy with the RMSD value of 0.09 and satellite-derived sea primary productivity were not significantly different. The satellite derived of chlorophyll-a could be calculated into sea primary productivity.

Keywords: *attenuation coefficient, chlorophyll-a concentration, sea primary productivity*

## ABSTRAK

Produktivitas primer perairan merupakan faktor penting dalam pemantauan kualitas perairan laut karena berperan dalam siklus karbon dan rantai makanan bagi organisme heterotrof. Estimasi produktivitas primer perairan dapat diduga melalui nilai konsentrasi klorofil-a, namun konsentrasi klorofil-a permukaan laut hanya mampu menjelaskan 30% produktivitas primer laut. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model estimasi produktivitas primer berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a dari lapisan kedalaman permukaan sampai kedalaman kompensasi. Model hubungan produktivitas primer dengan konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit Landsat-8 kemudian dapat digunakan untuk mengestimasi produktivitas primer satelit. Penentuan klasifikasi kedalaman dilakukan dengan mengukur nilai koefisien atenuasi menggunakan *luxmeter underwater datalogger 2000* dan *secchi disk*. Nilai koefisien atenuasi dengan menggunakan *luxmeter underwater* berkisar antara  $0,13 - 0,21 \text{ m}^{-1}$  dan *secchi disk* berkisar antara  $0,12 - 0,21 \text{ m}^{-1}$ . Penetrasi cahaya yang masuk ke kolom perairan dimana produksi primer masih berlangsung atau kedalaman kompensasi berkisar antara  $28,75 - 30,67 \text{ m}$ . Model regresi linier sederhana antara konsentrasi klorofil-a rata-rata seluruh zona eufotik dengan produktivitas primer perairan memiliki korelasi yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi klorofil-a permukaan dengan  $R^2 = 0,65$ . Validasi model produktivitas primer memiliki keakuratan yang tinggi dengan RMSD sebesar 0,09 dan produktivitas primer satelit secara signifikan tidak berbeda nyata dengan produktivitas primer data *insitu*. Sehingga nilai konsentrasi klorofil-a satelit dapat ditransformasi menjadi produktivitas primer satelit.

Kata kunci: koefisien atenuasi, konsentrasi klorofil-a, produktivitas primer perairan

## 1 PENDAHULUAN

Produktivitas primer adalah kecepatan terjadinya proses fotosintesis atau pengikatan karbon dan produksi karbohidrat (zat organik) dalam satuan waktu dan volume tertentu (Kirk, 2011; Lee *et al.*, 2014). Produktivitas primer perairan merupakan salah satu faktor penting dalam ekosistem perairan laut, karena berperan dalam siklus karbon dan rantai makanan untuk organisme heterotrof (Ma *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014). Pada ekosistem akuatik sebagian besar produktivitas primer perairan dilakukan oleh fitoplankton dan kurang lebih produksi primer di laut berasal dari fitoplankton (Parson *et al.*, 1984).

Konsentrasi klorofil-a sering digunakan untuk mengestimasi biomassa fitoplankton dan produktivitas perairan yang dapat digunakan dalam pengelolaan sumberdaya laut dan pemantaun kualitas perairan (Zhang and Han, 2015). Pemanfaatan teknologi penginderaan

jauh dapat digunakan untuk mendeteksi biomassa pigmen, (Vernet and Smith, 2007), namun tidak dapat mendeteksi produktivitas primer (Susilo, 1999). Sehingga produksi oleh fitoplankton dihitung menggunakan model bio-optik melalui perekaman data oleh sensor satelit (Vernet and Smith, 2007). Prosedur untuk mengestimasi produktivitas primer dari data satelit dapat dihitung menggunakan algoritma model produktivitas primer (Behrenfeld *et al.*, 2002).

Model estimasi produktivitas primer perairan menggunakan penginderaan jauh satelit telah banyak dikembangkan yaitu oleh Behrenfeld and Falkowski, (1997); Behrenfeld *et al.* (2005); Hirawake *et al.* (2012). Namun, penerapan model ini membutuhkan masukan data yang banyak. Selain itu, kendala dari model hubungan antara konsentrasi klorofil-a dan produktivitas primer perairan yaitu salah satunya karena sensor satelit

hanya mampu mendeteksi pada kedalaman permukaan laut atau kedalaman satu atenuasi cahaya (Kuring *et al.*, 1990). Menurut (Campbell *et al.*, 2002) konsentrasi klorofil-a permukaan hanya mampu menjelaskan kurang lebih 30 % produktivitas primer laut sedangkan produktivitas primer berlangsung sampai 4,6x kedalaman atenuasi cahaya atau kedalaman kompensasi (Kuring *et al.*, 1990; Balch *et al.*, 1992). Kedalaman kompensasi sendiri merupakan kedalaman dimana intensitas cahaya tinggal 1% dari intensitas cahaya di permukaan dimana proses fotosintesis dan respirasi seimbang (Kirk, 2011; Parson *et al.*, 1984).

Penelitian mengenai hubungan antara konsentrasi klorofil-a dan produktivitas primer menggunakan aplikasi teknologi penginderaan jauh telah dilakukan oleh Eppley *et al.*, (1985); Hill and Zimmerman, (2010); Hill *et al.* (2013). Di Indonesia pengembangan model empiris untuk estimasi produktivitas perairan dari konsentrasi klorofil-a yang diturunkan dari citra satelit ini masih jarang dilakukan. Penelitian yang pernah dilakukan yaitu oleh Susilo *et al.*, (1995) di perairan Subang dan Susilo (1999) di perairan selatan Jawa Barat. Namun, penelitian tersebut belum dapat menggambarkan produktivitas primer di seluruh zona eufotik karena pengukuran dilakukan pada kedalaman 10 m. Oleh sebab itu pada penelitian ini diharapkan dapat mengestimasi rata-rata produktivitas primer di seluruh kolom air zona eufotik menggunakan pendekatan model empiris data *insitu* konsentrasi klorofil-a yang kemudian diterapkan untuk analisis citra satelit.

Model statistik sederhana untuk mengestimasi rata-rata produktivitas primer menggunakan informasi konsentrasi klorofil-a laut di seluruh

zona eufotik, karena konsentrasi klorofil-a merupakan indikator utama untuk mengestimasi produktivitas primer dan merupakan variabel penting dalam proses fotosintesis (Ma *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014). Berdasarkan asumsi tersebut sehingga penelitian ini bertujuan untuk membangun model estimasi produktivitas primer perairan berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit Landsat-8.

## 2 METODOLOGI

### 2.1 Lokasi dan Data

Penelitian dilakukan di perairan pulau Karimunjawa dan Kemujan pada 20 stasiun pengamatan (Gambar 2-1). Karakteristik perairan Karimun Jawa yang terdiri dari ekosistem karang, mangrove dan lamun membuat produktivitas primer dipengaruhi banyak faktor. Sehingga stasiun pengamatan berada sedikit ke arah laut lepas agar produktivitas primer dominan dipengaruhi konsentrasi klorofil-a.

Penentuan stasiun pengamatan tersebut diharapkan dapat mengestimasi produktivitas primer perairan tidak hanya di sekitar pulau Karimun Jawa dan Kemujan saja tetapi dapat digunakan untuk seluruh perairan kepulauan Karimun Jawa dengan asumsi nilai konsentrasi klorofil-a konstan. Penelitian dilakukan pada 15-18 Mei 2016 dan berada pada koordinat  $5^{\circ} 46' 00'' - 5^{\circ} 54' 00''$  LS dan  $110^{\circ} 22' 30'' - 110^{\circ} 33' 30''$  BT. Data citra satelit yang digunakan adalah citra Landsat-8 OLI pada *path/row* 120/64 dengan tanggal perekaman satelit 15 Mei 2016.

### 2.2 Pengambilan Data *Insitu*

Prosedur pengambilan data dilakukan dengan mengambil contoh sampel air menggunakan *van dorn bottle sampler* pada tiap stasiun pengamatan dan tiga titik kedalaman pada zona

eufotik. Kedalaman tersebut ditentukan dengan mencari terlebih dahulu nilai koefisien atenuasi. Hal tersebut karena koefisien atenuasi merupakan besarnya nilai hambatan intensitas cahaya yang menembus kolom air (Kirk, 2011).

Perhitungan koefisien atenuasi dihitung menggunakan hukum Beer Lambert (Parson *et al.*, 1984). Pengukuran intensitas cahaya menggunakan *luxmeter underwater datalogger 2000*, sehingga perhitungan koefisien atenuasi adalah:

$$k = \frac{\ln(I_0/I_z)}{Z} \quad (2-1)$$

dimana:

$I_z$  = Intensitas cahaya pada kedalaman  $z$  (lux),

$I_0$  = Intensitas cahaya permukaan (lux),

$K$  = Koefisien atenuasi ( $m^{-1}$ ),

$z$  = Kedalaman (m).

Persamaan empiris lain untuk menghitung koefisien atenuasi dari pembacaan kedalaman keping *secchi disk* dengan menggunakan hubungan persamaan empiris dari Tilmann *et al.* (2000), sebagai berikut:

$$k = 0.191 + \frac{1.242}{Zsd} \quad (2-2)$$

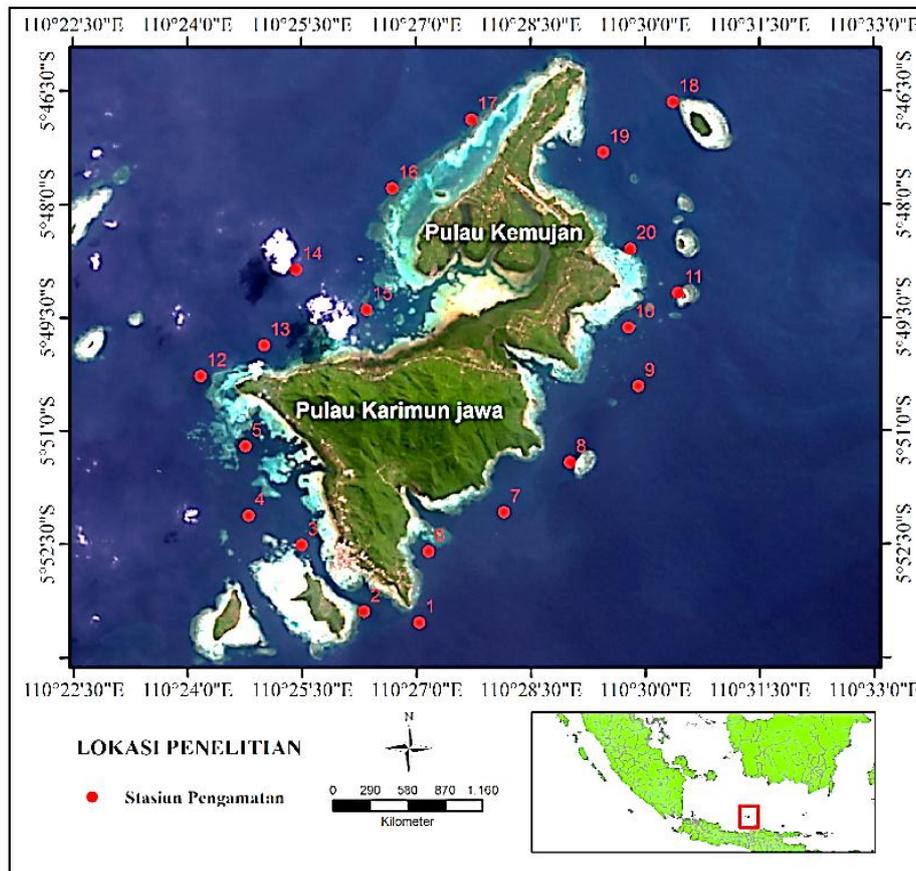
dimana:

$k$  = koefisien atenuasi ( $m^{-1}$ ),

$Zsd$  = kedalaman *secchi disk* (m).

Sampel air yang diambil yaitu pada kedalaman permukaan atau kedalaman satu atenuasi cahaya ( $k^{-1}$ ), kedalaman tengah zona eufotik dan kedalaman kompensasi. Kedalaman kompensasi dihitung menggunakan rumus (Hill *et al.* 2013):

$$\text{Kedalaman kompensasi} = \frac{4,6}{k} \quad (2-3)$$



Gambar 2-1: Peta Lokasi Penelitian (Sumber Peta: Citra Landsat 8)

Sampel air yang telah diambil kemudian dianalisis di laboratorium untuk diuji nilai konsentrasi klorofil-a. Analisis laboratorium menggunakan metode spektrofotometer (APHA, 2012). Pengukuran produktivitas primer dilakukan secara *insitu* dari komposit sampel air yang telah didapat dengan menggunakan metode botol-terang dan botol gelap. Pengukuran dilakukan pada siang hari antara pukul 09.00 – 15.00 WIB dengan inkubasi selama 3 - 5 jam. Oksigen terlarut yang diukur menggunakan metode *Winkler*. Nilai oksigen terlarut tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai produktivitas primer (APHA, 2012).

### 2.3 Pengolahan Citra Satelit

Tahap pengolahan citra satelit dimulai dengan melakukan koreksi geometrik dan radiometrik. Koreksi geometrik pada prinsipnya digunakan untuk memperbaiki kesalahan posisi citra satelit terhadap lokasi sebenarnya di permukaan bumi dan memiliki acuan sistem koordinat. Citra satelit Landsat-8 OLI juga dikoreksi secara radiometrik untuk mengubah nilai *digital number* (DN) menjadi nilai reflektansi dengan resolusi radiometrik 16-bit *integer* pada produk level 1 dan dikonversi menjadi nilai reflektansi *Top of Atmosphere* (TOA). Konversi nilai untuk reflektansi TOA menggunakan persamaan dari USGS (2015):

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (2-4)$$

dimana :

$\rho\lambda'$  = reflektansi TOA (*top of atmosfer*),  
tanpa koreksi sudut matahari,

$M_p$  = REFLECTANCEW\_ MULT\_ BAND\_x, di mana x adalah nomor Band,

$A_p$  = REFLECTANCEW\_ADD\_BAND\_x, di mana x adalah nomor Band,

$Q_{cal}$  = Nilai *digital number* (DN).

Besaran  $\rho\lambda$  bukan reflektansi TOA karena belum dilakukan koreksi sudut elevasi matahari. Sudut elevasi matahari terdapat dalam metadata. Untuk menghitung  $\rho\lambda$  sebenarnya digunakan persamaan:

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \sin(\theta) \quad (2-5)$$

dimana:

$\rho\lambda$  = TOA reflektansi,

$\sin(\theta)$  = Sudut elevasi matahari.

Koreksi atmosferik menggunakan metode *Dark Object Subtraction* (DOS) untuk mendapatkan nilai reflektansi permukaan. Asumsi yang digunakan yaitu nilai piksel minimum harus bernilai nol sehingga nilai minimum selain nol dianggap berasal dari atmosfer (Jaelani et al., 2015). Ekstraksi nilai konsentrasi klorofil-a dari citra satelit Landsat-8 dilakukan dengan menggunakan algoritma yang dikembangkan oleh Jaelani et al. (2015), dengan persamaan:

$$\text{Log}(\text{chl-a}) = -0.9889 * \frac{\lambda(\text{red})}{\lambda(\text{NIR})} + 0.3619 \quad (2-6)$$

dimana Chl-a adalah nilai konsentrasi klorofil-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), dan  $\lambda(\text{red})$  dan  $\lambda(\text{NIR})$  adalah nilai *reflektansi* pada kanal merah dan inframerah dekat pada Landsat-8 OLI. Nilai konsentrasi klorofil-a tersebut masih nilai konsentrasi klorofil-a permukaan sehingga untuk mentransformasi menjadi nilai konsentrasi klorofil-a seluruh zona eufotik menggunakan algoritma (Nuzapril et al., 2017) dengan persamaan:

$$K = 0.1442 + 0.615C \quad (2-7)$$

dimana K adalah konsentrasi klorofil-a kolom air seluruh daerah eufotik ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) dan C adalah konsentrasi klorofil-a permukaan ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

### 2.4 Model Produktivitas Primer

Analisis model produktivitas primer pada penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi produktivitas primer berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit. Model hubungan ini dirancang agar konsentrasi klorofil-a satelit dapat ditransformasi untuk mengestimasi produktivitas primer satelit (Hill *et al.*, 2013), dengan persamaan sebagai berikut:

$$PP_{sat} = a + b (Chl_{sat}) \quad (2-8)$$

dimana:

$PP_{sat}$  = Produktivitas primer satelit (mgC/m<sup>3</sup>/jam),

$Chl_{sat}$  = Konsentrasi klorofil-a satelit (mg/m<sup>3</sup>),

a dan b = koefisien regresi.

### 2.5 Validasi Model

Akurasi data dari pengukuran dengan citra satelit, dengan membandingkannya dengan data pengukuran *insitu* menggunakan analisis *Root Mean Square Difference* (RMSD) (Hirawake *et al.*, 2012). Perhitungan RMSD adalah sebagai berikut:

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\log PP_i - \log PP_j)^2}{n}} \quad (2-9)$$

dimana:

$\log PP_i$  = data produktivitas primer estimasi citra satelit (mgC/m<sup>3</sup>/jam),

$\log PP_j$  = data produktivitas primer *insitu* (mgC/m<sup>3</sup>/jam),

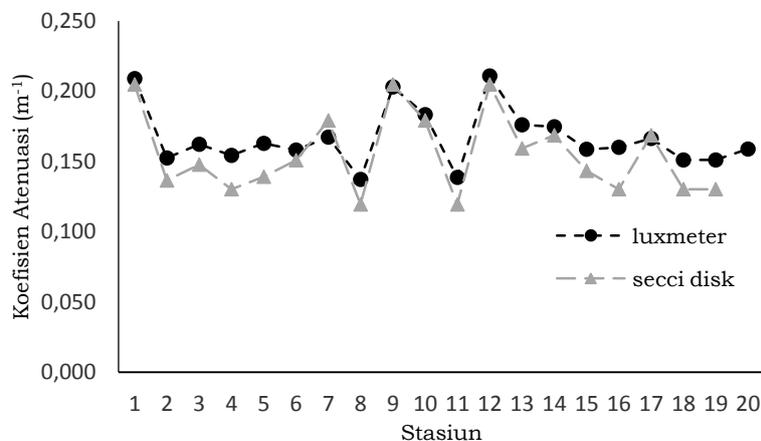
N = jumlah data.

Apabila nilai RMSD <0.3 mengindikasikan keakuratan pada model terhadap nilai pengukuran *insitu* (Hill and Zimmerman, 2010; Hirawake *et al.*, 2012).

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Koefisien Atenuasi *Secchi Disk* dan *Luxmeter Underwater*

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien atenuasi, hasil yang diperoleh menggunakan hukum Beer Lambert berkisar antara 0,13 – 0,21m<sup>-1</sup> dengan rata-rata 0,16 m<sup>-1</sup> dan nilai koefisien atenuasi dengan *secchi disk* berkisar antara 0,12 – 0,21 m<sup>-1</sup> dengan rata-rata koefisien atenuasi 0,15 m<sup>-1</sup>. Pengukuran nilai koefisien atenuasi antara *luxmeter underwater* dan *secchi disk* secara signifikan tidak berbeda nyata (p>0,05). Berdasarkan nilai koefisien atenuasi sehingga dapat dihitung kedalaman eufotik atau kedalaman kompensasi yaitu berkisar antara 28,75 – 30,67 m.



Gambar 3-1: Nilai koefisien atenuasi dari pengukuran *luxmeter underwater* dan *sechi disk*

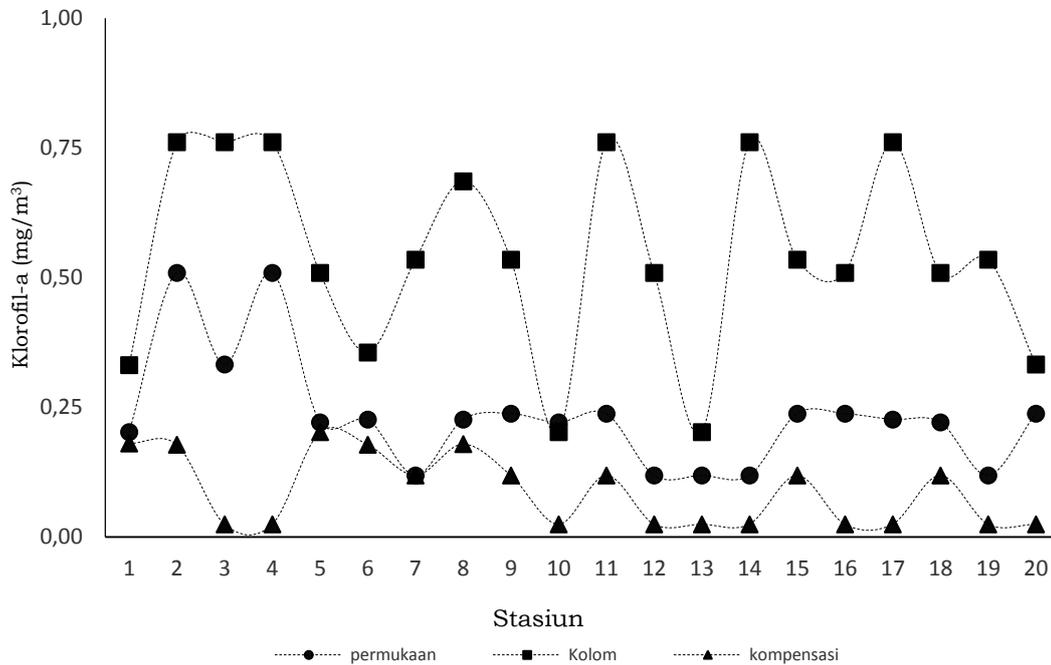
Atenuasi cahaya yang masuk kedalam kolom air dipengaruhi dua proses yaitu absorpsi dan hamburan (Kirk 2011). Kedalaman penetrasi cahaya berfungsi untuk mengetahui proses asimilasi tumbuhan terjadi karena laju fotosintesis fitoplankton merupakan fungsi linier dengan intensitas cahaya (Asriyana dan Yuliana, 2012).

### 3.2 Distribusi Konsentrasi Klorofil-a

Sebaran nilai klorofil-a di semua stasiun penelitian dan tiap kedalaman menunjukkan bahwa nilai konsentrasi klorofil-a paling tinggi berada di kolom perairan dan semakin rendah pada kedalaman kompensasi (Gambar 3-2). Konsentrasi klorofil-a permukaan memiliki nilai yang lebih kecil dan terkadang sama dengan konsentrasi kedalaman di kolom perairan. Nilai konsentrasi klorofil-a pada lapisan

permukaan berkisar antara 0,118 – 0,589 mg/m<sup>3</sup> dengan nilai rata-rata 0,233 mg/m<sup>3</sup>, pada lapisan kolom perairan nilai konsentrasi klorofil lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan permukaan dengan nilai berkisar antara 0,202 – 0,760 mg/m<sup>3</sup> dengan nilai rata-rata 0,542 mg/m<sup>3</sup>.

Lapisan kedalaman kompensasi merupakan nilai konsentrasi klorofil-a terendah karena menurunnya intensitas cahaya dibandingkan lapisan permukaan dan lapisan kolom perairan dengan nilai berkisar antara 0,024 – 0,202 mg/m<sup>3</sup> dengan nilai rata-rata 0,08 mg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi klorofil-a paling tinggi berada pada lapisan kedalaman tengah zona eufotik dimana hal tersebut dikarenakan intensitas cahaya yang terlalu tinggi pada lapisan permukaan dan intensitas yang semakin menurun ketika mendekati lapisan kedalaman kompensasi (Asriyana dan Yuliana, 2012).



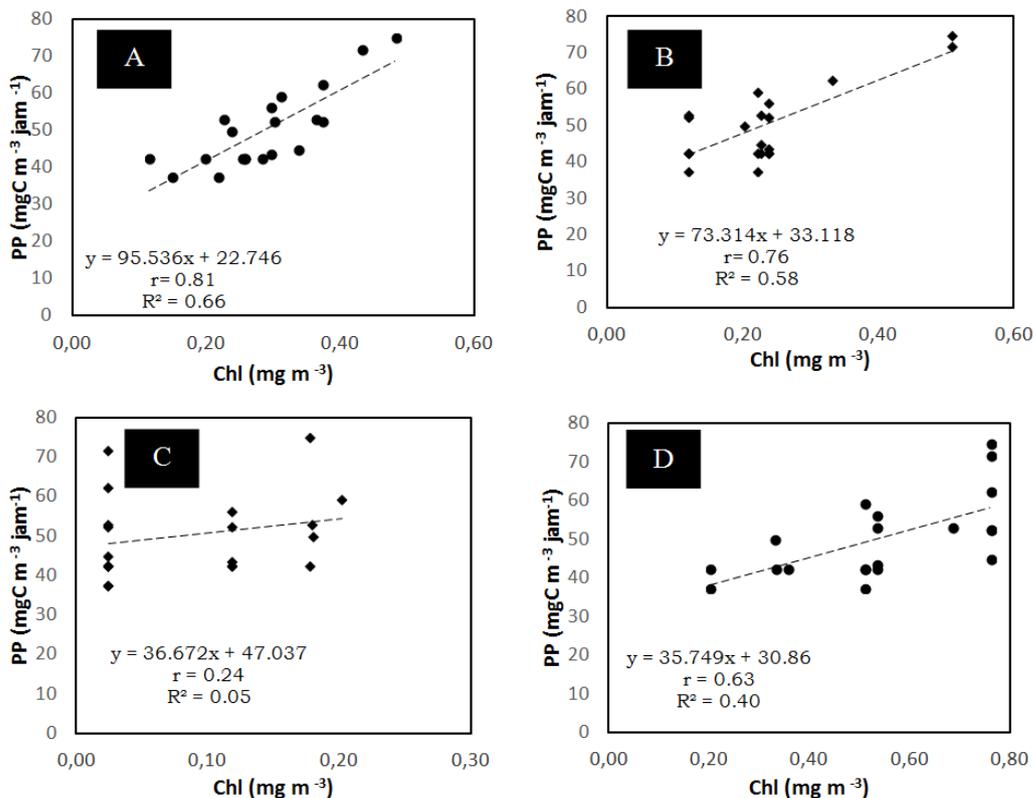
Gambar 3-2: Nilai konsentrasi klorofil-a di setiap stasiun pengamatan

Pengetahuan distribusi vertikal konsentrasi klorofil-a seharusnya dapat digunakan untuk membuat algoritma produktivitas primer perairan (Campbell *et al.*, 2002). Menurut Sathyendranath dan Platt (1989), dua cara dalam memprediksi distribusi biomassa fitoplankton pertama adalah distribusi vertikal pada biomassa fitoplankton adalah seragam dalam percampuran air yang baik pada lapisan permukaan, oleh karena itu konsentrasi klorofil pada banyak kedalaman adalah seimbang sampai *subsurface* dan masih mungkin dilakukan dengan pengukuran satelit kemudian yang kedua adalah kondisi stratifikasi dimana lapisan *subsurface* maksimum biasanya terdapat pada kisaran kedalaman dari permukaan sampai lapisan eufotik (1% atau intensitas cahaya tinggal 1%). Menurut Siswanto *et al.* (2005) profil vertikal klorofil-a secara umum tidak hanya untuk mengestimasi biomassa total fitoplankton tetapi juga

sebagai salah satu prinsip untuk menganalisis model estimasi produktivitas primer dengan menggunakan penginderaan jauh satelit.

### 3.3 Model Produktivitas Primer

Nilai produktivitas primer bersih berdasarkan data pengukuran *insitu* (Nuzapril *et al.*, 2017) berkisar antara 37 – 75 mgC/m<sup>3</sup>/jam dengan rata-rata produktivitas primer per harinya yaitu 562 mgC/m<sup>3</sup>/hari. Model hubungan antara produktivitas primer dengan konsentrasi klorofil-a dengan beberapa integrasi kedalaman menunjukkan bahwa nilai korelasi tertinggi produktivitas primer yaitu dengan nilai konsentrasi klorofil-a kolom air seluruh zona eufotik  $r = 0.81$ . Korelasi terendah hubungan antara konsentrasi klorofil-a dengan produktivitas pimer yaitu pada lapisan kedalaman kompensasi  $r = 0.24$  (Gambar 3-3).



Gambar 3-3: Model regresi antara produktivitas primer dengan (a) konsentrasi klorofil-a kolom air seluruh zona eufotik (Nuzapril *et al.* 2017) (b) Konsentrasi klorofil-a permukaan (c) Konsentrasi klorofil-a kompensasi (d) Konsentrasi klorofil-a tengah zona eufotik

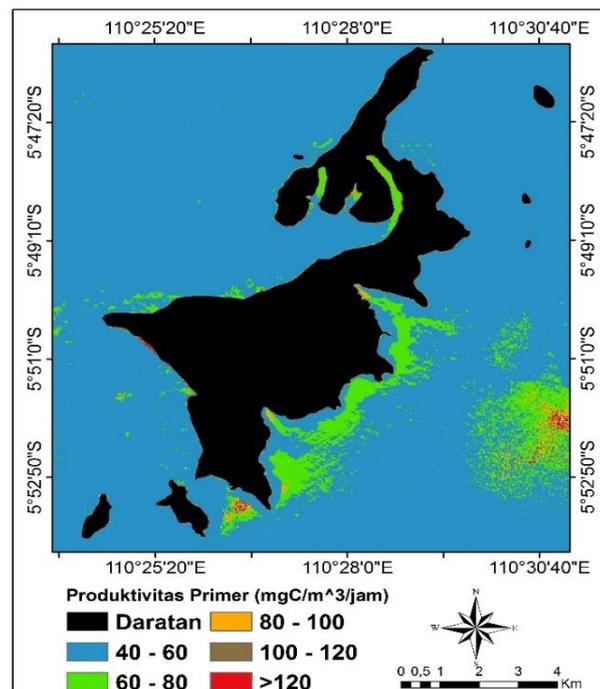
Penelitian terkait hubungan antara konsentrasi klorofil-a dengan produktivitas primer untuk aplikasi penginderaan jauh yang dilakukan Susilo (1999) di selatan Jawa Barat menunjukkan nilai koefisien korelasi lebih rendah dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dari hasil penelitian. Sementara itu nilai korelasi antara konsentrasi klorofil-a dengan produktivitas primer di perairan Subang (Susilo *et al.*, 1995) memiliki nilai yang lebih tinggi. Demikian pula model yang dikembangkan oleh Hill *et al.* (2013) dan Hill and Zimmerman (2010) korelasi antara konsentrasi klorofil-a dengan produktivitas primer perairan sebesar 0,81 dan 0,86. (Tabel 3-1). Hill *et al.* (2013) menyatakan bahwa model hubungan empiris sederhana antara produktivitas primer dengan konsentrasi klorofil-a ekstraksi citra satelit dapat diaplikasikan dengan

asumsi bahwa nilai integrasi konsentrasi klorofil-a dari permukaan sampai kedalaman eufotik homogen sehingga konsentrasi klorofil-a citra satelit dianggap konstan diseluruh zona eufotik.

Distribusi produktivitas primer dari analisis citra satelit menunjukkan bahwa nilai produktivitas primer lebih tinggi berada di sekitar perairan yang dekat dengan daratan dan semakin rendah ke arah laut lepas (Gambar 3-4). Hal tersebut karena pada daerah pesisir Karimun Jawa dihuni oleh ekosistem penting seperti ekosistem karang, lamun dan mangrove yang mempunyai nutrisi tinggi. Asriyana dan Yuliana, (2012) menyatakan bahwa perairan laut lepas lebih sedikit menerima pasokan unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan laut untuk menghasilkan produksi primer.

Tabel 3-1: KORELASI HUBUNGAN KONSENTRASI KLOOROFIL-A DENGAN PRODUKTIVITAS PRIMER

Model regresi	r	r <sup>2</sup>
Hill <i>et al.</i> (2013)	0,81	0,66
Hill and Zimmerman (2010)	0,86	0,74
Susilo <i>et al.</i> (1995)	0,86	0,73
Susilo (1999)	0,67	0,45



Gambar 3-4: Peta distribusi spasial produktivitas primer citra satelit

Model estimasi citra satelit dengan hasil ekstraksi konsentrasi klorofil-a citra satelit (Gambar 3-5a) menghasilkan persamaan:

$$PP_{sat} = 46,376 + 33,204(Chl_{sat}) \quad (2-10)$$

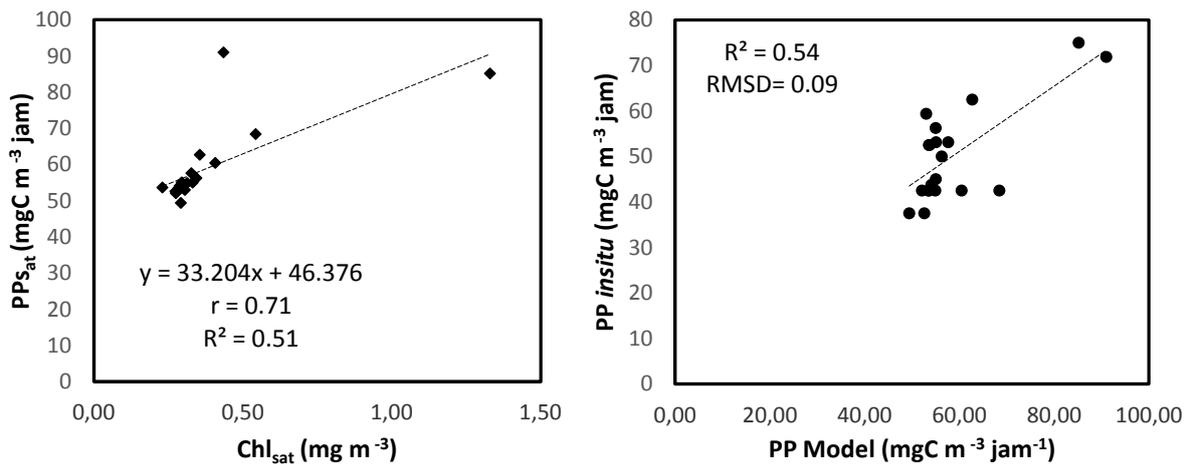
Korelasi antara konsentrasi klorofil-a citra satelit dengan produktivitas primer yaitu sebesar  $(r) = 0.71$  (Gambar 3-5a). Pengujian akurasi antara estimasi citra satelit dengan pengukuran *insitu* memiliki nilai *error* atau RMSD sebesar 0,09 dan  $R^2 = 0,54$  (Gambar 3-5b) yang menunjukkan keakuratan antara model estimasi produktivitas dengan hasil pengukuran *insitu*. Varian data produktivitas primer model dengan produktivitas primer *insitu* secara signifikan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ), sehingga konsentrasi klorofil-a yang diekstrak dari citra satelit dapat digunakan untuk mengestimasi produktivitas primer perairan.

Beberapa metode numerik telah dapat menggambarkan nilai estimasi produktivitas primer di perairan laut

(Behrenfeld dan Falkowski, 1997), sehingga penggunaan teknologi penginderaan jauh dapat membantu dalam pemantauan kualitas kesuburan perairan pada area yang luas yang tidak dapat dijangkau secara konvensional. Pengukuran dengan sensor satelit merupakan salah satu cara yang mungkin dan layak untuk mengestimasi produktivitas primer laut dan daerah pesisir (Lee *et al.*, 2014).

#### 4 KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penetrasi cahaya yang masuk kedalam kolom perairan pada zona eufotik mencapai 28,75 – 30,67 m. Model estimasi produktivitas primer berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a citra satelit Landsat-8 dapat dihitung menggunakan persamaan  $PP = 46,376 + 33,204Chl_{sat}$ . Model persamaan tersebut dapat digunakan untuk analisis spasial citra satelit, untuk mengestimasi produktivitas primer di suatu wilayah menggunakan citra satelit Landsat-8.



Gambar 3-5:(a) Hubungan antara konsentrasi klorofil-a citra satelit dengan produktivitas primer (b) model hubungan produktivitas primer estimasi dengan *insitu*.

**DAFTAR RUJUKAN**

- American Public Health Association [APHA], 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 22<sup>st</sup> edition. Washington (US): APHA.
- Asriyana dan Yuliana, 2012. *Produktivitas Perairan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Balch, W., Evan, R. Brown, J. Feldman, G. McClan, C. and Esaias, W., 1992. *The Remote Sensing of Ocean Primary Productivity: Use of a New Data Compilation of Test Algorithms*. Journal of Geophysical Research. Vol 97. C2: 2279-2293.
- Behrenfeld, M.J. and Falkowski, P.G., 1997. *Photosynthetic Rates Derived from Satelit-Based Chlorophyll Concentration*. Limnology and Oceanography, 42: 1-20.
- Behrenfeld M.J, Maranon E, Siegel DA, Hooker SB, 2002. *Photoacclimation and Nutrient-Based Model of Light-Saturated Photosynthesis for Quantifying Oceanic Primary Production*. Marine Ecological Progress. 228: 103-117.
- Campbell J., Antonie D., Armstrong R., Arrigo K., Balch W., Barber R., Behrenfeld M., Bidigare R., Bishop J., Carr M.E et al., 2002. *Comparison of Algorithm for Estimating Ocean Primary Production from Surface Chlorophyll, Temperature and Irradiance*. Global biogeochemical Cycle. 16(3): 1035.
- Eppley R.W, Stewart, E., Abbott M.R., Heyman U., 1985. *Estimating Ocean Primary Production fro Satellite Chlorophyll*. Introduction to regional differences and stastistics for Southern California Bight. Journal of Plankton Ressearch Vol 7. 1: 57 – 70.
- Hill, V.J, and Zimmerman, R.C., 2010. *Estimates of Primary Production by Remote Sensing in the Arctic Ocean: Assessment of Accuracy with Passive and Active Sensors*. Deep Sea Research I, 57: 1243–1254.
- Hill, V.J, Matrai; P.A, Olson, E. Suittles; S., Codispoti; L.A. Zimmerman, R.C., 2013. *Synthesis of Integrated Primary Production in the Artic Ocean: II. In situ and Remotely Sensed Estimates*. Progress in Ocenanography 1(10): 107-125.
- Hirawake, T.; Shinmyo, K.; Fujiwara, A., Saitoh; S., 2012. *Satellite Remote Sensing of Primary Productivity in Bering and Chuchi Sea using an Absorption based Approach*. Journal Marine Science. 69(7): 1194-1204.
- Jaelani MJ, Setiawan F.; Wibowo H., Apip, 2015. *Pemetaan Distribusi Spasial Kosentrasi Llorofil-a dengan Landsat-8 di danau Matano dan danau Towuti, Sulawesi Selatan*. Prosiding pertemuan tahunan masyarakat ahli penginderaan jauh Indonesia (MAPIN) XX. 2015 Feb 5-6; Bogor (ID): MAPIN.
- Kirk JTO, 2011. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Third Edition. New York: Cambridge University Press.
- Kuring N., Lewis MR, Platt T., O'reilly JE., 1990. *Satellite Derived Estimates of Primary Production on the Northwest Atlantic Continental Shelf*. Cont Shelf Res. 10(5):461 – 484.
- Lee, Z.P., Marra, J., Perry, M.J. and Kahru, M., 2014. *Estimating Oceanic Primary Productivity from Ocean Color Remote Sensing: A Strategic Assesment*. Journal of Marine Systems 149: 50-59.
- Ma S., Tao Z., Yang X., Member, IEEE, Yu Y., Zhou X., Ma W, Li Z.. 2014. *Estimation of Marine Primary Productivity from Sattelite-Derived Phytoplankton Absorption Data*. IEEE J Select Topics Apl Earth Observ Remote Sens., 7(7): 3084-3092.
- Nuzapril, M., Susilo, S.B., Panjaitan, J.P., 2017. *Hubungan antara Konsentrasi Klorofil-a dengan Tingkat Produktivitas Primer menggunakan Citra Satelit Landsat-8*. 8(1): 105 – 114.

- Parson, T.R., Takahashi, M., and Hargrave, B., 1984. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press. New York.
- Sathyendranath S., Platt T.. 1989. *Computation of Aquatic Primary Production: Extended Formalism to Include Effect of Angular and Spectral Distribution of Light*. *Limnol Oceanogr.* 34: 188-198.
- Siswanto, E., Ishizaka, J., and Yokouchi, K., 2005. *Estimating Chlorophyll-a Vertical Profiles from Satellite Data and the Implication for Primary Productivity in the Kuroshio Front of the East China Sea*. *Journal of Oceanography*. Vol 61. 575-589.
- Susilo, S.B., 1999. *Konsentrasi Klorofil-a Sebagai Penduga Produktivitas Primer Perairan*. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*. 6(2): 73-82.
- Susilo, S.B., Adkha, I., dan Damar, A., 1995. *Penggunaan Data Citra Landsat-TM Hasil Olahan Digital untuk Pendugaan Sebaran Horizontal Produktivitas Primer di Perairan Kabupaten Subang, Jawa Barat*. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 3(1): 57 – 63.
- Tillman U., Hesse KJ., Colijn F., 2000. *Planctonic Primary Production in the German Wadden Sea*. *Journal of Plankton Research*. 22(7): 1253-1276.
- USGS, 2015. *Landsat-8 Data Users Handbook*. Department of interior. U.S. Geological Survey. *LSDS-1574 Version 1.0*.
- Vernet, M., and Smith, RC., 2007. *Measuring and Modeling Primary Production in Marine Pelagic Ecosystems*. Oxford University Press: 161-167.
- Zhang, C., and Han, M., 2015. *Mapping Chlorophyll-a Concentration in Laizhou Bay Using Landsat-8 OLI data*. *Proceedings of the 36th IAHR World Congress*. Netherland.

**METODE DUAL KANAL UNTUK ESTIMASI KEDALAMAN  
DI PERAIRAN DANGKAL MENGGUNAKAN DATA SPOT 6  
STUDI KASUS : TELUK LAMPUNG  
(DUAL BAND METHOD FOR BATHYMETRY ESTIMATION  
IN SHALLOW WATERS DEPTH USING SPOT 6 DATA  
CASE STUDY: LAMPUNG BAY)**

**Muchlisin Arief<sup>1</sup>, Syifa Wismayati Adawiah, Ety Parwati, Sartono Marpaung**

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Kalisari Lapan No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur 13710, Indonesia

<sup>1</sup>e-mail : muchlisin.arief@yahoo.com

Diterima 21 April 2017; Direvisi 18 Agustus 2017; Disetujui 28 Agustus 2017

**ABSTRACT**

Depth data can be used to produce seabed profile, oceanography, biology, and sea level rise. Remote sensing technology can be used to estimate the depth of shallow marine waters characterized by the ability of light to penetrate water bodies. One image that can estimate the depth is SPOT 6 which has three visible canals and one NIR channel with 6 meter spatial resolution. This study used SPOT 6 image on March 22, 2015. The image was first being dark pixel atmospheric corrected by making 30 polygons. The originality of this method was to build a correlation between the dark pixel value of red and green channels with the depth of the field measurement results, made on June 3 to 9, 2015. The algorithm derived experimentally consisted of: thresholding which served to separate the land by the sea and the correlation function. The correlation function was obtained: first correlating the observation value with each band, then calculating the difference of minimum pixel darkness value and minimum for red and green channel was 0.056 and 0.0692. The model was then constructed by using the comparison proportions, so that the linear equations were obtained in two channels:  $Z(X_1, X_2) = 406.26 X_1 + 327.21 X_2 - 28.48$ . Depth estimation results were for a 5-meter scale, the most efficient estimation with the smallest error relative mean occurred in shallow water depth from 20 to 25 meters, while the result of 10 meters scale from 20 to 30 meters and the estimated depth had similar patterns or could be said close to reality. This method was able to detect sea depths up to 25 meters and had a small RMS error of 0.653246 meters. Thus the two-channel method could offer a fast, flexible, efficient, and economical solution to map topography of the ocean floor.

Keywords: *two channels, depth, SPOT 6, Lampung Bay, correlation, shallow waters depth, thresholding*

## ABSTRAK

Data kedalaman dapat digunakan untuk menghasilkan profil dasar laut, oseanografi, biologi, dan kenaikan muka air laut. Teknologi penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman perairan laut dangkal yang ditandai dengan kemampuan cahaya untuk menembus badan air. Salah satu citra yang mampu mengestimasi kedalaman tersebut adalah SPOT 6 yang memiliki tiga kanal *visible* dan satu kanal NIR dengan resolusi spasial 6 meter. Pada penelitian ini, Citra SPOT-6 yang digunakan adalah 22 Maret 2015. Citra terlebih dahulu dilakukan koreksi atmosferik *dark pixel* dengan membuat 30 poligon. Originalitas dari metode ini adalah membangun suatu korelasi antara nilai *dark pixel* kanal merah dan hijau dengan nilai kedalaman hasil pengukuran lapangan yang dilakukan pada 3 sampai dengan 9 Juni 2015. Algoritma diturunkan secara eksperimen yang terdiri dari *thresholding* yang berfungsi untuk memisahkan daratan dengan lautan dan fungsi korelasi. Fungsi korelasi diperoleh pertama-tama mengkorelasikan nilai pengamatan dengan masing-masing *band*, kemudian menghitung selisih nilai *dark pixel* maksimum dan minimum untuk kanal merah dan hijau yaitu 0,056 dan 0,0692. Selanjutnya, dibangun model dengan menggunakan dalil perbandingan sehingga diperoleh persamaan linier dalam dua kanal yaitu:  $Z_{(X_1, X_2)} = 406,26 X_1 + 327,21 X_2 - 28,48$ . Hasil estimasi kedalaman, untuk skala 5 meter, estimasi yang paling efisien dengan Mean relatif *error* terkecil terjadi pada kedalaman perairan dangkal dari 20 sampai dengan 25 meter, sedangkan untuk skala 10 meter dari 20 sampai dengan 30 meter dan juga hasil estimasi kedalaman yang diperoleh mempunyai pola kemiripan atau dapat dikatakan mendekati kenyataan. Metode ini mampu mendeteksi kedalaman laut hingga 25 meter dan mempunyai RMS *error* yang kecil yaitu 0,653246 meter. Dengan demikian, metode dua kanal ini dapat menawarkan solusi cepat, fleksibel, efisien, dan ekonomis untuk memetakan topografi dasar laut.

Kata kunci: *dua kanal, kedalaman, SPOT 6, teluk lampung, korelasi, perairan dangkal, thresholding*

## 1 PENDAHULUAN

Batimetri adalah ilmu yang mempelajari tentang kedalaman topografi dasar laut. Data kedalaman dapat digunakan untuk menghasilkan grafik navigasi, profil dasar laut, oseanografi biologi, erosi pantai, dan kenaikan permukaan laut. Secara tradisional kedalaman dapat dipetakan menggunakan *echo sounders* tetapi metode ini tidak efisien untuk perairan laut dangkal. Teknologi penginderaan jauh menyajikan cara yang efisien dan hemat biaya terutama untuk daerah terpencil dan cakupan yang luas. Sejak abad ke-20, teknik penginderaan jauh berkembang pesat, yang memberikan pemikiran baru tentang kedalaman. Dibandingkan dengan metode tradisional, kedalaman dengan teknik penginderaan jauh memiliki presisi lebih rendah tetapi lebih murah dan periode pendek.

Perairan laut dangkal merupakan salah satu wilayah yang mempunyai dinamika tinggi dan peranan penting baik secara ekonomi maupun ekologi. Terumbu karang dan lamun sebagai komponen utama penyusun ekosistem tersebut berfungsi sebagai habitat ikan, tempat pariwisata, pelindung pantai dari hantaman gelombang, dan pengadukan material tersuspensi. Dinamika yang tinggi idealnya selalu diikuti dengan pembaharuan informasi sehingga diperoleh gambaran wilayah yang sesuai dengan kenyataan. Perairan laut dangkal dalam istilah oseanografi didefinisikan sebagai wilayah laut yang terbentang dari batas pantai sampai dengan kedalaman 200 meter. Namun dalam lingkup penginderaan jauh, perairan laut dangkal yang dimaksud merujuk pada kemampuan citra satelit dalam menembus kolom perairan. Khusus untuk

perairan dangkal yang relatif jernih, metode penginderaan jauh optik mampu menembus kedalaman perairan maksimal 25 sampai 30 meter dan akan berkurang seiring semakin keruhnya perairan (Green *et al.*, 2000; Collet *et al.*, 2000).

Informasi kedalaman yang akurat sangat signifikan untuk navigasi, studi lingkungan dari wilayah laut dan elemen kunci dari modeling hidrologi, estimasi banjir, dan degradasi sedimen (Finkl *et al.*, 2005). Pemetaan fitur bawah laut seperti batu, daerah berpasir, sedimen akumulasi dan terumbu karang membutuhkan kedalaman air laut (Su *et al.*, 2008). Pemodelan kedalaman dengan skala spasial yang tidak mungkin dicapai dengan metode tradisional, dapat menggunakan penginderaan jauh dengan menggunakan beberapa teknik, masing-masing memiliki kemampuan pendeteksian kedalaman sendiri, akurasi/kesalahan/presisi, kelebihan, kekurangan, dan lingkungan aplikasi terbaik (Gao, 2009). Informasi kedalaman di pesisir Malang dengan menggabungkan informasi dari DIHIDROS dengan data satelit LANDSAT (Arief, 2012a).

Dalam dekade terakhir berbagai metode estimasi telah dibuat berdasarkan hubungan antara nilai *pixel image* dan air. Disebut nilai kedalaman antara lain: algoritma penyederhanaan persamaan *irradiation* dengan mengabaikan efek pelemahan (*attenuation effect*) dari badan air dan diperoleh hubungan antara energi radian dengan kedalaman air (Lyzenga, 1978; Lyzenga, 1979; Philpot 1989; Jupp, 1989; Maritorea *et al.*, 1994). Teorinya didasarkan pada koreksi efek *sun glint* menggunakan *band near infra red* dan penghapusan kolom air. Algoritma baru berdasarkan rasio kanal reflektansi diusulkan oleh (Stumpf *et al.*, 2003). Penelitian lain dalam hal menentukan kedalaman perairan laut dangkal telah dilakukan di Teluk Popoh

dengan menggunakan fungsi empiris yang diperoleh dengan cara mengkorelasikan titik-titik kedalaman dari peta DIHIDROS dengan nilai reflektansi dari kanal 1 SPOT-4 (Arief, 2012b). Sementara itu kegiatan penelitian terkait batimetri dengan menggabungkan data kedalaman yang diukur secara langsung dengan resultante reflektan (kanal 1 dan kanal 3) dari data SPOT-4 telah dilakukan (Arief *et al.*, 2013). Penelitian tentang kedalaman menggunakan kanal rasio reflektan dari citra IKONOS untuk menurunkan kedalaman, berkebalikan dengan algoritma transformasi linier standard (Su, *et al.*, 2008). Penelitian dengan melakukan analisis rasio kanal optimal (obra) bidang spektrum kontinyu dan spektrum *convolved* dengan kanal-kanal dari WorldView-2 dan LANDSAT 7 (Legleiter *et al.*, 2014). Sementara itu, penelitian lain dengan mengintegrasikan resolusi tinggi citra *WorldView-2* dengan kedalaman yang didasarkan pada algoritma *multi channel* baru telah dikembangkan (Eugenio *et al.*, 2015). Penelitian dengan menerapkan rasio kanal biru/hijau dan model statistik *ground calibration points* dengan menggunakan citra satelit *RapidEye* (Monteys *et al.*, 2015). Penelitian kedalaman menggunakan *linear radiative transfer Bathymetry models* atau model perpindahan radiasi kedalaman linear menggunakan citra IRS-1C, yang hasil informasinya dapat diintegrasikan *echo sounding* dan Data GPS (Pattanaik *et al.*, 2015), menghitung kedalaman dengan menggunakan *Ensemble Learning* (EL) dari algoritma *Least Squares Boosting* (LSB) dengan menggunakan citra SPOT-4 (Mohamed *et al.*, 2016). Penelitian penentuan kedalaman telah dilakukan berdasarkan algoritma rasio kanal biru/hijau di Sungai Gangga di Bangladesh (Khondoker dan Siddiquee, 2016). Terkait perbaikan resolusi spasial telah

dilakukan pengembangan ekstraksi data kedalaman menggunakan data SPOT 5 yang mencoba membandingkan penggunaan data dari kanal merah dan hijau serta dual kanal dari merah dan hijau (Liu *et al.*,2010).

Teluk Lampung adalah salah satu contoh bentuk teluk yang ada di perairan Indonesia, dimana banyak aktivitas yang membutuhkan informasi kedalaman perairan terkait dengan berbagai aktivitas di sana. Pengembangan model ekstraksi informasi kedalaman menggunakan data SPOT-4 yang mempunyai resolusi spasial 20 meter dirasa masih banyak kekurangannya (Arief, 2013). Penggunaan data SPOT-6 yang memiliki resolusi spasial 6 meter dan memiliki kanal biru yang tidak dimiliki data SPOT 5, diharapkan mampu menjawab kebutuhan akan estimasi kedalaman dengan tingkat ketelitian yang lebih baik.

Originalitas dari penelitian ini adalah menentukan kedalaman perairan dangkal dengan menggabungkan informasi kedalaman yang diperoleh dari pengamatan langsung yang dilakukan pada tanggal 3 Juni sampai 9 Juni 2015 dengan informasi nilai *dark pixel* kanal merah dan hijau. Metode tersebut diturunkan secara eksperimen yang terdiri dari : *Thresholding* yang berfungsi untuk memisahkan daratan dengan lautan dengan fungsi korelasi. Fungsi korelasi diperoleh pertama mengkorelasikan nilai pengamatan dengan masing-masing kanal, kemudian mencari selisih nilai maksimum dan minimum kanal. Terakhir adalah menggunakan dalil perbandingan antara kanal untuk menghitung konstanta fungsi korelasi, sehingga diperoleh persamaan untuk menurunkan kedalaman  $Z_{(X_1, X_2)} = 406.26 X_1 + 327.21 X_2 - 28.48$ . Dengan demikian metode dua kanal ini dapat menawarkan solusi

cepat, fleksibel, efisien, dan ekonomis untuk memetakan topografi dasar laut.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. mengembangkan model ekstraksi informasi kedalaman menggunakan dua kanal data SPOT 6 tervalidasi dengan data lapang dan
2. mendapatkan informasi kedalaman perairan dangkal dari citra SPOT-6 di Teluk Lampung.

## 2 METODOLOGI

### 2.1 Lokasi dan Data

Teluk Lampung dipilih sebagai wilayah studi dengan luas 161,178 ha. Teluk ini diapit dua kabupaten yaitu Kabupaten Pesawaran di sebelah barat dan Kabupaten Lampung Selatan di sebelah timur serta satu kota yaitu kota Bandar Lampung sebelah utara, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2-1a. yang mana dalam setiap pengamatan lapangan hanya diwakili oleh satu *pixel* pengamatan (Gambar 2-1b). Titik pengamatan kedalaman di Teluk Lampung berjumlah 60 titik, dengan nilai kedalaman terendah 0,6 m dan tertinggi 26,5 m. Distribusi data kedalaman lapangan dari 0-5 m sebanyak 5 titik; 5-10 m sebanyak 4 titik; 10-15 m sebanyak 10 titik; 15-20 m sebanyak 13 titik; 20-25 m sebanyak 22 titik; dan 25-30 m sebanyak 6 titik pengamatan. Penyebaran titik pengamatan dengan nilai kedalaman dapat dilihat pada Gambar 2-1c.

### 2.2 Algoritma Kedalaman Perairan Dangkal

Dasar fisika dalam penginderaan jauh optik adalah bahwa dalam batas tertentu cahaya dapat menembus air dangkal. Kemampuan cahaya untuk menembus badan air merupakan teori dasar fisika untuk pemodelan kedalaman air dari data spektral penginderaan jauh. Di antara panjang gelombang elektromagnetik, *band visibel* memiliki

atmospheric transmittance dan koefisien atenuasi air terkecil sehingga band ini sangat baik untuk menentukan kedalaman air. Ketika air cukup jelas, sedimen relatif homogen dan atmosfer dalam kondisi baik, tingkat keabuan citra penginderaan jauh memiliki korelasi yang kuat dengan kedalaman air.

Metode statistik yang digunakan adalah metode inversi untuk kedalaman air. Keuntungan model ini relatif sederhana dan tingkat presisinya tinggi, tetapi masih membutuhkan data lapangan atau kedalaman yang diukur sebagai titik kontrol.

Menurut kuantitas kanal yang digunakan, metode ini dibagi menjadi model tunggal kanal dan model dual kanal. Metode model tunggal kanal dan dual kanal telah diaplikasikan untuk data Landsat TM dan SPOT-5 (Clerk, 1987;

Benny dan Dawson, 1983; Liu *et al.*, 2010). Formula-formula yang digunakan pada kedua sumber tersebut adalah:

- Model tunggal kanal

$$L_i = L_{si} + C_i R_{bi} e^{-k_i Z} \quad (2-1)$$

Keterangan:

$L_i$  : cahaya kanal ke-i

$L_{si}$  : cahaya kanal ke-i di dalam air

$C_i$  : konstanta radiasi matahari, atmosfer dan transmitansi air kanal ke-i

$R_{bi}$  : substrat reflektansi kanal ke-i

$k_i$  : difusi koefisien atenuasi kanal ke-i

$f$  : panjang jalur transmisi cahaya dalam air

$Z$  : nilai kedalaman air.



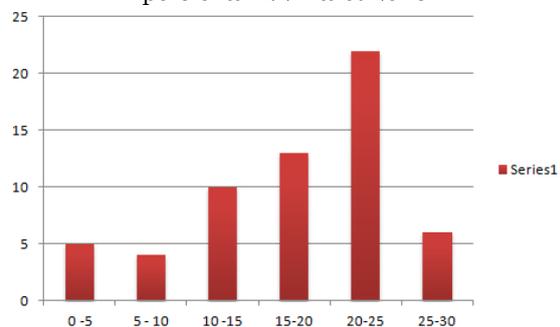
(a)

Gambar 2-1a: Lokasi Teluk Lampung dan citra SPOT-6 perolehan tgl. 22 Maret 2015



(b)

Gambar 2-1b: Lokasi Teluk Lampung dan citra SPOT-6 perolehan 22 Maret 2015



(c)

Gambar 2-1c: Grafik penyebaran titik pengamatan dengan nilai kedalaman

Dari persamaan (2-1) dapat diturunkan nilai Z sebagai berikut:

$$Z = \ln (C_1 R_{b1}) / f_{ki} - \ln (L_i - L_{s1}) / f_{ki} \quad (2-2)$$

Dengan asumsi bahwa air dan sedimen dasar laut memiliki reflektansi yang homogen diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Z = A_0 + A_1 X_1 \quad (2-3)$$

Keterangan:

$X_1$  :  $\ln (L_i - L_{s1})$

$A_0$  : konstanta

$A_i$  : koefisien gradien band ke-i.

- Model dual kanal

Jika rasio reflektansi sedimen tidak ada hubungannya dengan perubahan sedimen, maka digunakan operasi pembagian untuk dua persamaan dari model tunggal kanal (merah, hijau, dan biru) dengan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Z = [1/f_{(k2-k1)}] \left[ \ln \left( \frac{C_1 R_{b1}}{C_2 R_{b2}} \right) - \underbrace{\ln (L_1 - L_{s1})}_{X_1} + \underbrace{\ln (L_1 - L_{s2})}_{X_2} \right] \quad (2-4)$$

Keterangan:

$k_1$  : difusi koefisien atenuasi kanal merah

$k_2$  : difusi koefisien atenuasi kanal hijau

$C_1$  : konstanta radiasi matahari, atmosfer dan transmitansi air kanal merah

$C_2$  : konstanta radiasi matahari, atmosfer dan transmitansi air kanal hijau

$R_{b1}$  : substrat reflektansi kanal merah

$R_{b2}$  : substrat reflektansi kanal hijau

$L_1$  : cahaya kanal merah

$L_2$  : cahaya kanal hijau

$L_{s1}$  : cahaya kanal merah di dalam air

$L_{s2}$  : cahaya kanal hijau di dalam air

Persamaan (2-4) tersebut disederhanakan menjadi persamaan (2-5) berikut:

$$Z = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 \quad (2-5)$$

Keterangan:

$Z$  : nilai estimasi kedalaman air kombinasi kanal merah dan hijau

$A_0$  : konstanta

$A_1$  : koefisien gradien kanal merah

$A_2$  : koefisien gradien kanal hijau

$X_1$  : nilai piksel kanal merah

$X_2$  : nilai piksel kanal hijau

### 2.3 Data dan Peralatan yang Digunakan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data SPOT-6, 22 Maret 2015 sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3-1. Pengukuran lapangan dilakukan pada 3 sampai 9 Juni 2015. Peralatan yang digunakan antara lain: *Global Positioning System* (GPS), *depth meter handheld*, perangkat lunak untuk memproses citra adalah ENVI dan IDL versi 5.0 dan ER- Mapper ver. 7.0.

### 2.4 Tahapan Pengolahan Data

Secara umum penelitian ini memanfaatkan algoritma yang telah diaplikasikan untuk data Landsat TM, ETM dan SPOT-5 yang tertuang dalam persamaan (2-1) sampai (2-5). Proses-proses pra pengolahan data sebagai prasyarat kelayakan data penginderaan jauh yang digunakan juga dilakukan. Tahapan pengolahan data yang dilakukan dituangkan dalam lima tahap berikut ini :

a. Pertama, dilakukan pengumpulan data, baik data lapangan maupun data citra SPOT 6. Kemudian dilakukan pengintegrasian antara citra dengan titik-titik pengamatan. Tidak semua titik pengamatan yang telah dikumpulkan digunakan dalam penelitian ini. Dari 60 titik yang berhasil dikumpulkan, dipilih titik-titik pengamatan yang memiliki nilai kedalaman yang berbeda,

b. Koreksi atmosferik untuk menghasilkan nilai reflektan permukaan (*surface reflectance*) dilakukan dengan menggunakan metode *dark pixel* (Prayuda, 2014), di mana besarnya nilai reflektan permukaan sama dengan nilai reflektansi citra dikurangi hasil pengurangan nilai rata-rata dari poligon dikurangi nilai 2 kali standard deviasi:

$$L_i = L - (L_{\text{mean}} - (2 * L_{\text{stdv}})) \quad (2-6)$$

Keterangan:

L = nilai reflektansi asli

$L_i$  = nilai reflektansi yang terkoreksi atmosfer

$L_{\text{mean}}$  = rata-rata nilai reflektansi poligon laut dalam.

Untuk wilayah kajian dilakukan dengan menggunakan 30 poligon yang dibuat di laut dalam.

- c. Mengkorelasikan antara nilai kedalaman hasil pengukuran di lapangan dengan nilai *surface reflectance* untuk masing-masing kanal yang akan diuji, yaitu kanal merah, hijau, biru, dan dual kanal (merah dan hijau, merah dan biru, serta hijau, serta biru dan hijau),
- d. Menggunakan dalil perbandingan yang diperoleh dari selisih nilai maksimum dengan minimum dari masing-masing kanal untuk mencari koefisien/konstanta  $A_1$  dan  $A_2$  pada persamaan 2-5.
- e. Uji akurasi dilakukan dengan cara menghitung *Mean Relative Error* (MRE) dan *Mean Square Error* (MSE) yang diterapkan pada hasil yang diperoleh. Formula yang digunakan adalah:

$$\text{MRE} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i / Z_i}{.n} \quad (2-7)$$

$$\text{MSE} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i)^2}}{n} \quad (2-8)$$

Keterangan:

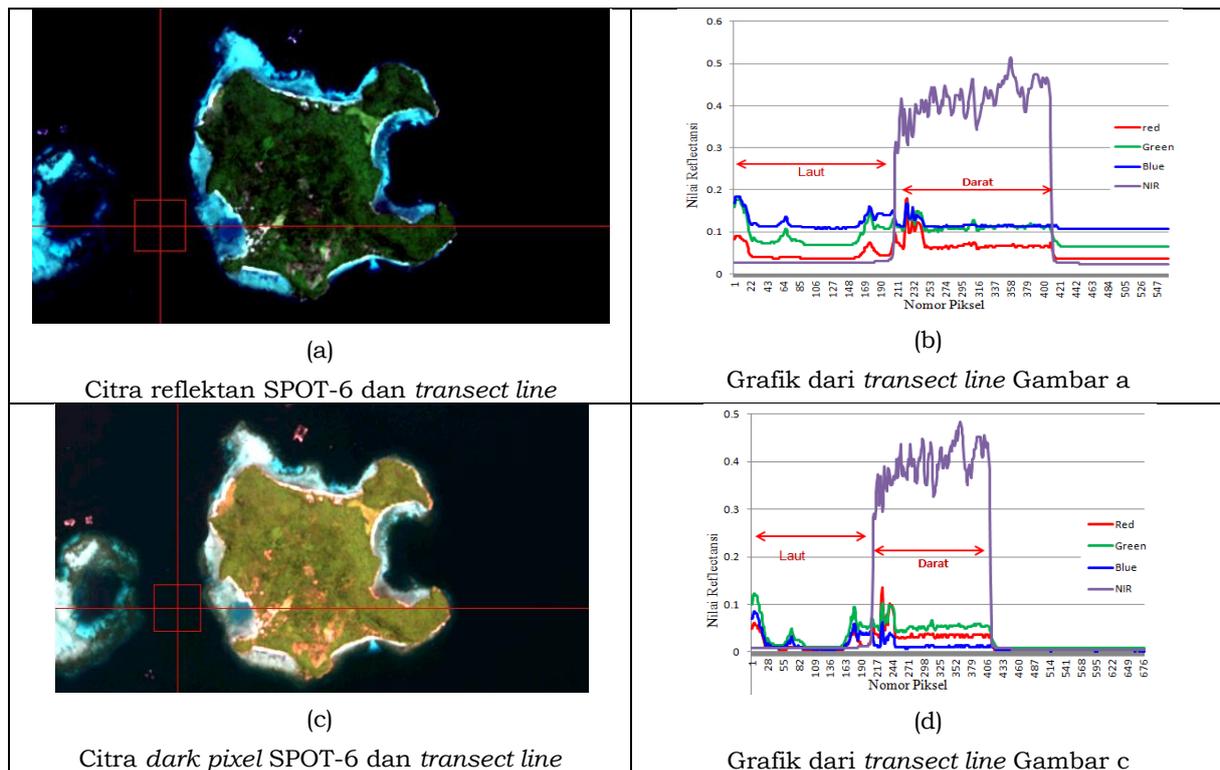
$\Delta Z_i = | Z_i - Y_i |$ ,

N = jumlah titik pengamatan,  $Z_i$  nilai kedalaman hasil pengukuran lapangan, dan  $Y_i$  nilai kedalaman hasil penerapan model.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses perhitungan nilai reflektansi permukaan menggunakan metode *dark pixel* untuk memisahkan daratan dengan lautan merupakan proses awal yang dilakukan. Gambar 3-1 merupakan salah satu contoh hasil perhitungan nilai reflektansi menggunakan metode *dark pixel* citra untuk Pulau Tegal yang ada di Teluk Lampung.

Dalam keadaan normal saat citra direkam, nilai kedalaman air sesaat lebih tinggi dari sebenarnya karena dipengaruhi oleh pasang-surut laut. Dalam hal ini digunakan kedalaman air sesaat. Untuk mengekstraksi data kedalaman dari data reflektan permukaan, dikorelasikan antara nilai hasil kedalaman pengamatan dengan *dark pixel* dari kanal merah dan hijau. Hasil korelasinya dapat dilihat pada Gambar 3.2.a dan b. Sebelumnya telah dicoba beberapa fungsi untuk menentukan bentuk persamaan dan nilai korelasi ( $R^2$ ) seperti ditampilkan dalam Tabel 3-1.



Gambar 3-1: Citra SPOT-6 (reflektan dan dark pixel) dan garis transek

Tabel 3-1: BENTUK PERSAMAAN DAN NILAI KORELASI BAND MERAH DAN HIJAU

Band	Persamaan	Fungsi Persamaan	Nilai Korelasi (R <sup>2</sup> )
Merah	Logaritmik	$y = 10.886\ln(x) + 35.451$	R <sup>2</sup> = 0.6577
	Polinomial orde 2	$y = -8142.8x^2 + 1157.8x - 26.873$	R <sup>2</sup> = 0.7058
Hijau	Logaritmik	$y = 13.116\ln(x) + 37.648$	R <sup>2</sup> = 0.7327
	Polinomial orde 2	$y = -2689.8x^2 + 728.32x - 28.582$	R <sup>2</sup> = 0.7496

Gambar 3-2a, 3-2b dan 3-2c adalah fungsi korelasi nilai kedalaman pengamatan dengan nilai *surface reflectance* dari kanal merah, hijau, dan gabungan menggunakan regresi linier. Untuk kanal merah persamaan liniernya adalah  $y = 906,84x - 25,493$  dengan R<sup>2</sup> = 0,7026 dan untuk kanal hijau adalah  $y = 592,77x - 27,28$  dengan R<sup>2</sup> = 0,7491. Persamaan regresi linier yang digunakan dalam perhitungan kedalaman air, mempunyai koefisien korelasi lebih baik dibandingkan dua fungsi sebelumnya, Sementara itu Gambar 3-2c adalah fungsi korelasi dua kanal yang diperoleh dengan menggunakan dalil perbandingan selisih nilai maksimum dengan minimum dari kanal merah dan kanal hijau, yang mana hasil regresinya adalah:  $Z_{(x_1, x_2)} =$

$406,26 X_1 + 327,21 X_2 - 28,48$  di mana X<sub>1</sub> dan X<sub>2</sub> adalah kanal merah dan hijau.

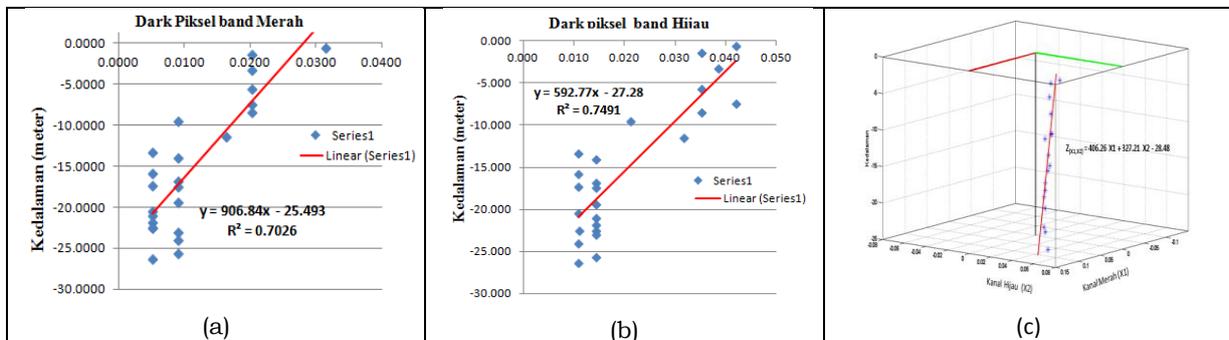
Pada Gambar 3-4a,b adalah citra kedalaman yang diturunkan dari *dark pixel* (citra yang dikoreksi atmosferik) dari kanal merah dan hijau. Gambar 3-4a menunjukkan bahwa maksimum kedalaman adalah -25 meter di tengah laut, kemudian ke 22-25 meter, dan langsung jatuh ke kedalaman -18 - -16 meter terdegradasi ke tepi pantai. Pada Gambar 3-4b, menunjukkan bahwa maksimum kedalaman adalah -28 meter di tengah laut bagian bawah, kemudian terdegradasi ke tepi pantai. Hasil pada Gambar 3-4a dan Gambar 3-4b kanal merah dan kanal hijau memiliki kecenderungan yang sama dari

kedalaman. Hal ini menandakan bahwa keadaan air laut keruh di bagian wilayah studi akan mempengaruhi hubungan linear antara *dark pixel* dengan kedalaman dan menghambat penerapan model pada seluruh gambar.

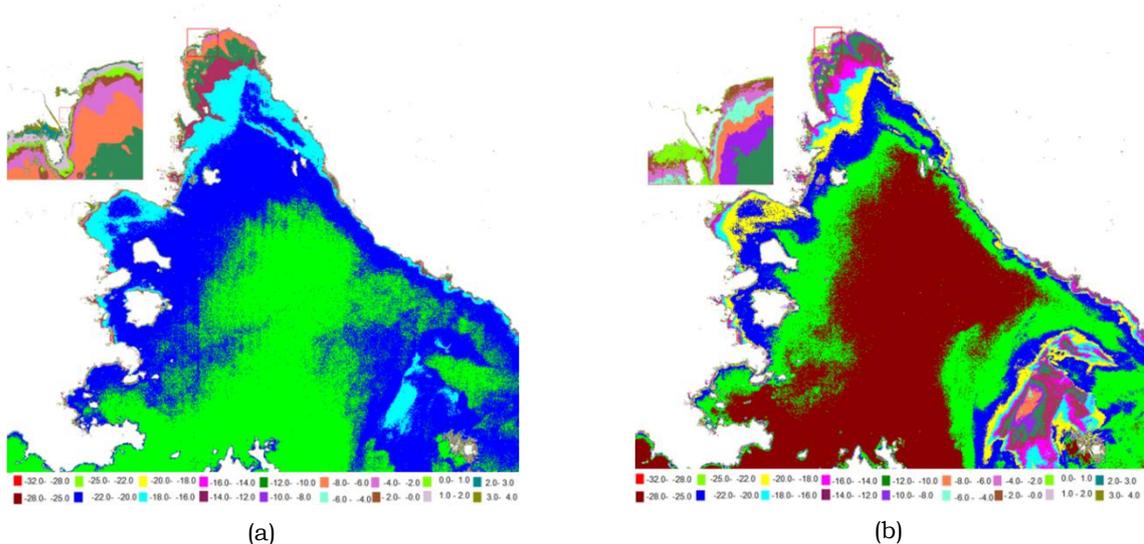
Teknik yang diusulkan dalam menaksir kedalaman laut perairan dangkal bergantung pada hubungan linear yang kuat antara citra *dark pixel* merah dan hijau yang tidak berubah pada kedalaman air dangkal. Kedua adalah bahwa model mengasumsikan bahwa kolom air vertikal homogen sesuai dengan sifat optiknya dan

terakhir model ini adalah bahwa hal itu tidak memperhitungkan variasi horizontal dalam sifat optik airnya. Hasil ini diperoleh dengan cara membandingkan antara interval kanal merah dengan kanal hijau yaitu 0,56: 0,692, untuk citra *dark pixel*  $Z(x_1, x_2) = 406,26 X_1 + 327,21 X_2 - 28,48$ .

Implikasi dari metode ini adalah pertama, metode ini mengasumsikan kolom air vertikal homogen sehubungan dengan sifat optiknya. Hasil perhitungan kedalaman untuk citra *dark pixel* pada gabungan kanal (kanal merah dan hijau) pada citra SPOT-6 dapat dilihat pada Gambar 3-5.



Gambar 3-2: Korelasi antara titik pengamatan dan *dark pixel* citra SPOT-6



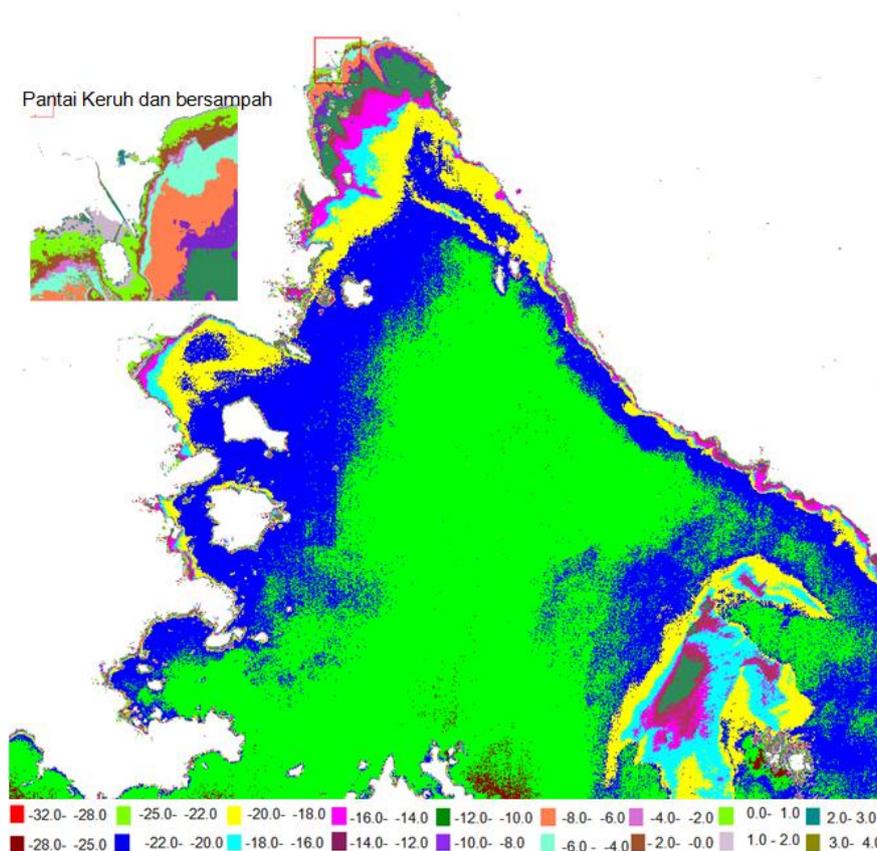
Citra kedalaman diturunkan dari *surface reflectance* kanal hijau

Citra kedalaman diturunkan dari *surface reflectance* kanal merah

Gambar 3-4: Citra kedalaman diturunkan dari *surface reflectance* kanal merah dan hijau

Pada Gambar 3-5 menunjukkan bahwa nilai maksimum kedalaman adalah -25 meter, kemudian terdegradasi untuk setiap 2 derajat ke pantai. Hal ini disebabkan oleh koefisien difusi air, di mana kanal merah dan hijau melemah lebih cepat dan tidak dapat menembus lebih lanjut (hanya dapat menembus pada kedalaman 25 meter). Pada perairan yang tidak jernih atau keruh dan bersampah yang akan menghalangi penetrasi sinar sampai ke dasar laut sehingga untuk bagian perairan ini akan terdeteksi dengan kedalaman sampai dengan + 2 meter. Akan tetapi, model dual kanal menggunakan data SPOT-6 memiliki respon yang jelas untuk air dangkal dan dapat menyimpan fitur/pola dengan ukuran spasial yang lebih rinci.

Model dual kanal menggunakan asumsi bahwa sesuai dengan sifat optiknya kolom air vertikal adalah homogen karena zona pesisir merupakan hidrodinamik kompleks lingkungan yang mengakibatkan pengaruh variasi vertikal biotik dan abiotik optik signifikan (sangat mempengaruhi) sifat kolom air. Walaupun kadang kala terjadi pelemahan pada seluruh air kolom. Metode ini tidak bergantung pada pengetahuan nilai redaman yang sebenarnya, tetapi hanya pelemahan sekitar kolom air yang dianggap sama untuk keseluruhan. Untuk mengetahui nilai kesalahan maka dihitung *mean* relatif *error* dan *mean square error* untuk tiap skala 5 dan 10 meter. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4-1.



Gambar 3-5: Citra kedalaman diturunkan dari gabungan band merah dan hijau dari *dark pixel*

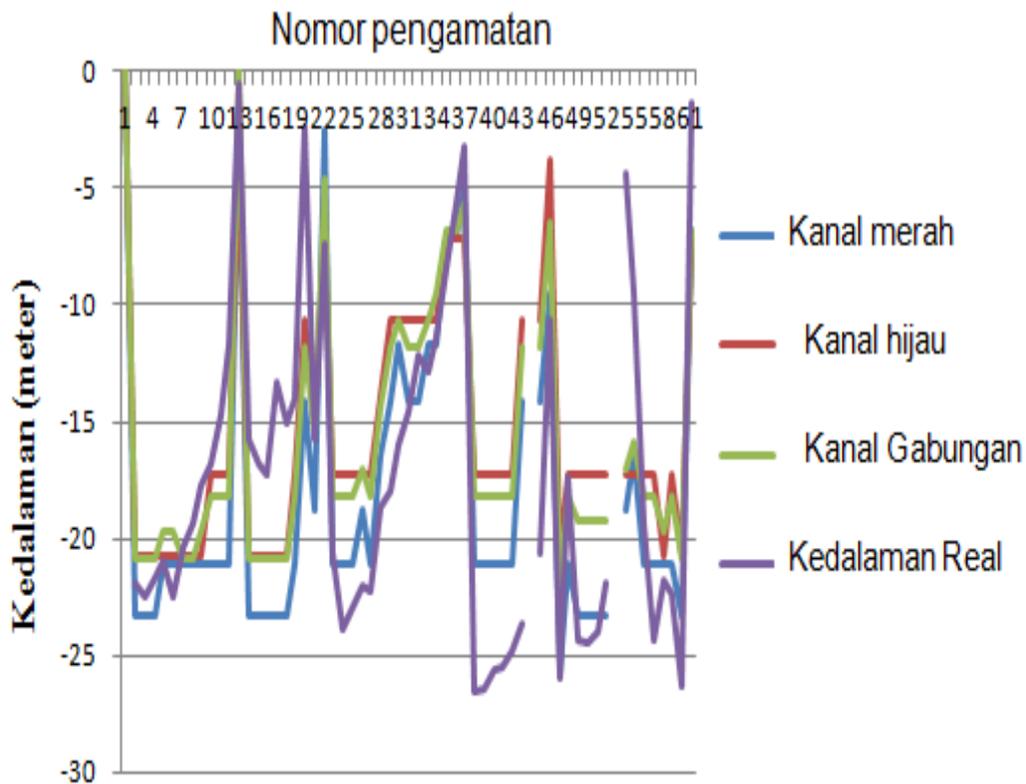
Tabel 4-1: MEAN RELATIF DAN SQUARE ERROR HASIL ESTIMASI BATIMETRIK

Kanal	Segment (meter)	Mean relatif error	Mean square error
Hijau	0 - 5	1.629272	1.107326
	5 - 10	0.385597	2.9716097
	10 - 15	0.291322	4.3703744
	15 - 20	0.261652	5.3487869
	20- 25	0.090483	4.8192862
Merah	25 - 30	0.146783	2.8777220
	0 - 5	3.540169	4.2184690
	5 - 10	0.320263	7.684962
	10 - 15	0.305576	4.029014
	15 - 20	17.7532	4.189968
Gabungan	20- 25	0.209391	3.844799
	25 - 30	0.291659	0.218924
	0 - 5	2.481655	5.456463
	5 - 10	0.36629	7.763742
	10 - 15	0.290736	7.530095
Gabungan	15 - 20	0.255845	3.648891
	20- 25	0.173462	4.029665
	25 - 30	0.260757	3.755342
	0 - 5	1.541493	7.530095
	5 - 10	0.36629	3.648891

Tabel 4-1 dapat dilihat bahwa hasil estimasi kedalaman laut yang paling efisien dalam menentukan kedalaman laut adalah yang mempunyai *mean relatif error* yang paling kecil, untuk skala 5 meter, *mean relatif error* yang paling kecil adalah pada kedalaman 20 sampai dengan 25 meter (yaitu untuk kanal hijau, merah, dan gabungan berturut-turut sebesar: 0,090483; 0,209391; dan 0,173462) sedangkan untuk skala 10 meter *mean relatif error* yang paling kecil adalah pada kedalaman 20 sampai dengan 30 meter (yaitu untuk kanal hijau, merah, dan gabungan berturut turut sebesar: 0,114853; 0,218924; dan 0,198494). Untuk estimasi kedalaman laut yang paling efisien juga dengan *mean square error* paling kecil untuk skala 5 meter adalah (untuk hijau adalah 20 sampai dengan 25 meter yaitu 2,877, untuk merah adalah pada kedalaman 15 sampai dengan 20 meter yaitu 3,844799 dan gabungan juga pada kedalaman 15 sampai dengan 20 meter yaitu 3,755) sedangkan untuk skala 10 meter yang mempunyai *mean square error* paling kecil untuk kanal

hijau yaitu pada kedalaman 20 sampai dengan 30 meter dengan *mean square error* adalah 3,303, untuk kanal merah yaitu pada kedalaman 15 sampai 20 meter dengan *mean square error* adalah 4,004 dan untuk kanal gabungan adalah 10 sampai dengan 20 meter dengan *mean square error* adalah 3.795. Kesimpulan yang didapat dari pernyataan di atas adalah untuk skala 5 meter, estimasi yang paling efisien untuk estimasi kedalaman perairan dangkal adalah 20 sampai dengan 25 meter sedangkan untuk skala 10 meter adalah 20 sampai dengan 30 meter.

Perhitungan/ ekstraksi kedalaman yang diturunkan dari penginderaan jauh pada sejumlah titik pengamatan, meliputi titik kedalaman air dan *dark* piksel pada tempat yang sama. Untuk melihat apakah hasil pemrosesan estimasi kanal merah, hijau dan kanal gabungan mendekati dengan hasil pengukuran, maka diplotkan hasil dari estimasi dan pengukuran tersebut dalam bentuk grafik. Hasil penggambaran tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6: Plot hasil pengukuran dengan hasil pemrosesan per titik

Gambar 3-6 memperlihatkan bahwa hasil pemrosesan estimasi dengan hasil pengukuran mempunyai pola yang hampir sama dengan pola hasil pengukuran. Akan tetapi, hasil estimasi kelihatan lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran. Hal ini disebabkan karena analisis kedalaman sangat bergantung pada koefisien atenuasi yang sangat bergantung pada konsentrasi *fitoplankton*, *impurity*, konsentrasi garam mineral, dan partikel tersuspensi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hasil estimasi pemrosesan mendekati kesesuaian dengan hasil pengukuran. Hasil perhitungan diperoleh standard deviasi untuk *dark pixel* kanal merah, kanal hijau, dan gabungan dual kanal berturut turut adalah: 0,740331, 0,622513, dan 0,653246.

Berdasarkan analisis tersebut maka estimasi kedalaman menggunakan data satelit SPOT-6 menggunakan metode

dual kanal mampu menawarkan akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan metode *single band* (satu kanal). Metode tersebut terbukti lebih hemat biaya dan waktu, cakupan spasial lebih luas, ekonomis untuk memetakan topografi dasar laut dibandingkan dengan survei menggunakan sonar secara konvensional. Pengukuran kedalaman berbasis satelit penginderaan jauh dapat menjadi metode alternatif dan alat pengintai dalam memfasilitasi permintaan kegiatan survei hidrografi di sekitar wilayah pesisir perairan dangkal.

#### 4 KESIMPULAN

Citra satelit SPOT-6 dengan kanal spektral *visible* dapat memberikan informasi kedalaman perairan skala yang dibutuhkan seperti skala 1:10,000. Pada penelitian ini, digunakan metode dua kanal (kanal spektral merah dan hijau) dengan persamaan yaitu:  $Z_{(X1,X2)} = 406,26 X1 + 327,21 X2 - 28,48$  yang

dapat digunakan untuk mengestimasi kedalaman perairan dangkal hingga -25 meter pada kondisi perairan jernih sedangkan untuk perairan yang keruh perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengingat pada daerah ini terdeteksi lebih tinggi dari sebenarnya.

Untuk skala 5 meter, estimasi yang paling efisien dengan *Mean relatif error* terkecil terjadi pada kedalaman perairan dangkal dari 20 sampai dengan 25 meter, sedangkan untuk skala 10 meter dari 20 sampai dengan 30 meter.

Nilai kedalaman hasil pengolahan citra SPOT-6 mempunyai pola kemiripan atau mendekati nilai kedalaman yang sebenarnya. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *RMS error* yang kecil yaitu 0,653246 meter.

Kondisi kedalaman hasil pengolahan citra SPOT-6 menghasilkan nilai kedalaman yang relatif sama dengan data kedalaman sebenarnya. Dengan melihat hasil *RMS error* yang sangat kecil, maka penggunaan metode dual kanal mampu menawarkan solusi cepat, fleksibel, efisien, dan ekonomis menguntungkan untuk memetakan topografi dasar laut.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan untuk Syarif Budhiman M.Sc, sebagai Kepala Bidang Program dan Fasilitas, yang telah banyak membantu dalam mengerjakan penyelesaian kegiatan ini serta Dr. Mahdi Kartasamita yang telah memberikan beberapa saran dalam penyelesaiannya.

### DAFTAR RUJUKAN

Arief M., 2012a. *Aplikasi Data Satelit SPOT Untuk Pemetaan Kedalaman di Pesisir Selatan Malang*. Jurnal Teknologi, Universitas Muhammadiyah, ISSN

2085-1669; 2010; Oktober, Vol.2 No. 2. 143 - 150.

Arief, M., 2012b. *Pendekatan Baru Pemetaan Kedalaman Menggunakan Data Penginderaan Jauh SPOT : Studi Kasus Teluk Perigi dan Teluk Popoh*. Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol. 10 no.1 Juni 2012, ISSN 1412-8063, 71-80.

Arief, M.; Hartuti, M.; Asriningrum, W.; Parwati, E.; Budhiman, S.,; Prayogo, T.; Hamzah, R., 2013. *Pengembangan Metode Pendugaan Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Satelit SPOT-4: Studi Kasus: Teluk Ratai Kabupaten Pesawaran*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital; ISSN-1412-8098, Vol. 10, No.1.

Benny, A.H.; and Dawson G.J., 1983. *Satellite Imagery as an Aid to Bathymetric Charting in the Red Sea*, The Cartographic Journal, vol.20, 5-16.

Collet, C.; Provost J.-N. ; Rostaing, P.; Perez, P. and Bouthemy, P., 2000. *SPOT Satellite Data Analysis for Bathymetric Mapping*. Proceedings of the International Conference on Image Processing, 3, 464-467. <http://dx.doi.org/10.1109/icip.2000.899440>.

Eugenio, F.; Marcello, J.; Martin, J., 2015. *High-Resolution Maps of Bathymetry and Benthic Habitats in Shallow-Water Environments Using Multispectral Penginderaan jauh Imagery*. IEEE Transactions on Geoscience and Penginderaan jauh, VOL. 53, NO. 7.

Finkl C.; Benedet L.; dan Andrews J., 2005. *Interpretation of Seabed Geomorphology Based on Spatial Analysis of High-Density Airborne Laser Bathymetry*. Journal of Coastal Research, vol. 21, 501-514.

Gao, J., 2009. *Bathymetric Mapping by Means of Penginderaan Jauh: Methods, Accuracy and Limitations*. Progress in Physical Geography, vol. 33, no.1, 103-116.

- Green, E.; Edward, A.; Mumby, P., 2000. *Mapping Bathymetry in Penginderaan Jauh Handbook for Tropical Coastal Management*. Coastal Management Sourcebok 3, UNESCO Paris, 219-233.
- Jupp, D. L. B., 1989. *Background and Extension to Depth of Penetration (DOP) Mapping in Shallow Coastal Waters*. Proceedings of symposium on penginderaan jauh of coastal zone, Gold Coast, Queensland, IV 2 (1) - IV 2 (19).
- Khondoker, I.S., and Siddiquee, H.Z, 2016. *Deriving River Bathymetry Using Space Borne Penginderaan jauh Techniques In Bangladesh*. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), ISSN (e): 225-3021, ISSN: 2278-8719, Vol. 6, 45-51.
- Legleiter, C.J.; Tedesco, M.; Smith, L.C.; Behar, A.E. and Overstreet, B.T., 2014. *Mapping The Bathymetry of Supraglacial Lakes and Streams on the Greenland Ice Sheet Using Field Measurements and High-Resolutionsatellite Images*. The Cryosphere, 8, doi:10.5194/tc-8-215-2014, 215 – 228.
- Liu S.; Zhang J. and Ma M., 2010. *Bathymetric Ability of SPOT-5 Multi-spectral Image in Shallow Coastal Water, 2010, 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, 2010, 1-5. doi: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567951*.
- Lyzenga, D. R., 1978. *Passive Penginderaan jauh Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features*. Applied Optics, 17 (3), 379-383.
- Lyzenga, D. R., 1979. *Shallow-Water Reflectance Modeling With Applications to Penginderaan Jauh of Ocean Floor*. Proceeding of 13th International Symposium on Penginderaan jauh of Environment, 583-602.
- Maritorena, S.; Morel, A.; and Gentili, B., 1994. *Diffuse-Reflectance of Oceanic Shallow Waters – Influence of Water Depth and Bottom Albedo*, Limnol. Oceanography, 39, 1689–1703.
- Mohamed H.; Negm A.; Zahran M.; dan Saavedra C.O., 2016. *Bathymetry Determination from High Resolution Satellite Imagery Using Ensemble Learning Algorithms in Shallow Lakes: Case Study El-Burullus Lake*. International Journal of Environmental Science and Development, Vol.7, No.4.
- Monteys, X.; Harris, P.; Caloca, S. and Cahalane C., 2015. *Spatial prediction of coastal bathymetry based on multispectral satellite imagery and multibeam data*. Penginderaan jauh Vol. 7, 13782-13806; doi:10.3390/rs71013782.
- Pattanaik, A.; Sahu, K.; Bhutiyan, M.R., 2015. *Estimation of Shallow Water Bathymetry Using IRS-Multispectral Imagery of Odisha Coast, India International Conference on Water Resources, Coastal And Ocean Engine*. (ICWRCOE 2015) ELSEVIER, Vol.4, 173-181.
- Philpot, W.D., 1989. *Bathymetry Mapping with Passive Multispectral Imagery*. Applied Optics. 28, 1569–1578.
- Prayuda B., 2014, *Panduan Teknis Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal, Pemetaan Habitat Dasar Perairan Laut Dangkal Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, CRITC COREMAP II LIPI*.
- Stumpf, R.P.; Holderied, K.; Sinclair, M., 2003. *Determination of Water Depth With High Resolution Satellite Imagery over Variable Bottom Types*. Limnology Oceanography. 48, 547556. doi:10.4319/lo.2003.48.1\_part\_2.0547.
- Su, H.; Liu H.; Heyman, W., 2008. *Automated Derivation of Bathymetric Information from Multi Spectral Satellite Imagery Using a Non Linear Inversion Model*. Marine Geodesy. vol.31, pp. 281-298. doi:10.1080/01490410802466652.

---

---

# **UJI MODEL FASE PERTUMBUHAN PADI BERBASIS CITRA MODIS MULTIWAKTU DI PULAU LOMBOK (THE TESTING OF PHASE GROWTH RICE MODEL BASED ON MULTITEMPORAL MODIS IN LOMBOK ISLAND)**

**I Made Parsa<sup>1</sup>, Dede Dirgahayu, Johannes Manalu, Ita Carolita, Wawan KH**  
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN  
Jln. Kalisari No. 8 Pekayon, Pasar Rebo – Jakarta 13710  
<sup>1</sup>e-mail: [parsa\\_lpn@yahoo.com](mailto:parsa_lpn@yahoo.com)

Diterima 4 Mei 2017; Direvisi 14 Juli 2017; Disetujui 29 Agustus 2017

## **ABSTRACT**

Model testing is a step that must be done before operational activities. This testing aimed to test rice growth phase models based on MODIS in Lombok using multitemporal LANDSAT imagery and 4eld data. This study was carried out by the method of analysis and evaluation in several stages, these are : evaluation of accuracy by multitemporal Landsat 8 image analysis, then evaluation by using 4eld data, and analysis of growth phase information to calculate model consistency. The accuracy of growth phase model was calculated using Confusion Matrix. The results of stage I analysis for phase of April 30 and July 19 showed the accuracy of the model is 58-59 %, while the evaluation of stage II for phase of period July 19 with survey data indicated that the overall accuracy is 53 %. However, the results of model consistency analysis show that the resulting phase of the smoothed MODIS imagery shows a consistent pattern as well as the EVI pattern of rice plants with an 86% accuracy, but not for pattern data without smoothing. This testing give conclusion is the model is good, but for operational MODIS input data must be smoothed 4rst before index value extraction.

Keywords: *growing phase, MODIS images, multitemporal Landsat8 images, confusion matrix*

## ABSTRAK

Uji model adalah sebuah tahapan yang harus dilakukan sebelum model tersebut digunakan untuk kegiatan yang bersifat operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menguji akurasi model fase pertumbuhan padi berbasis MODIS di pulau Lombok terhadap citra Landsat multiwaktu dan data lapangan. Penelitian dilakukan dengan metode analisis dan evaluasi secara bertahap. Pertama, evaluasi akurasi menggunakan analisis citra Landsat 8 multiwaktu. Pada tahap kedua menggunakan data referensi hasil pengamatan lapangan, sedangkan tahap ketiga dilakukan analisis informasi fase pertumbuhan untuk mengetahui tingkat konsistensi model. Akurasi model fase pertumbuhan dihitung menggunakan matrik kesalahan. Hasil analisis dan evaluasi tahap I terhadap informasi fase 30 April dan 19 Juli menunjukkan bahwa ketelitian model mencapai 58-59 %, sementara hasil evaluasi tahap II terhadap fase periode 19 Juli menggunakan data hasil survei 20-25 Juli menunjukkan akurasi keseluruhan 53 %. Namun, hasil analisis konsistensi model menunjukkan bahwa fase yang dihasilkan dari citra MODIS yang di-*smoothing* menunjukkan pola yang konsisten sebagaimana pola EVI tanaman padi dengan akurasi 86 %, sedangkan pola EVI citra MODIS yang tidak di-*smoothing* tidak konsisten. Berdasarkan hasil ini disimpulkan bahwa model ini cukup baik, tetapi dalam operasionalnya perlu dilakukan *smoothing* citra MODIS *input* terlebih dahulu sebelum ekstrak nilai indek (EVI).

Kata kunci: *fase pertumbuhan, citra MODIS, citra Landsat multiwaktu, matriks kesalahan*

### 1 PENDAHULUAN

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (Pusfatja) telah mengembangkan model untuk pemantauan fase pertumbuhan padi berbasis citra MODIS delapan harian resolusi 250 meter. Pada model tersebut fase pertumbuhan padi (FPP) diklasifikasi menjadi enam kelas yaitu fase air (pengolahan tanah), fase vegetatif 1 (1-40 hari setelah tanam/ hst), fase vegetatif 2 (41-64 hst), fase generatif 1 (65-96 hst), generatif 2 (97hst-panen) dan fase bera/panen (Dirgahayu *et al.*, 2005; Dirgahayu *et al.*, 2014).

Dalam implementasi model tersebut juga menggunakan acuan basis data luas baku sawah dari Kementerian Pertanian skala 1:5000 tahun 2010 (untuk Pulau Jawa) dan skala 1:10.000 tahun 2012 (untuk luar Pulau Jawa) (Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, 2016). Sebelum digunakan dalam pemodelan, data spasial luas baku sawah tersebut terlebih dulu di-*downscaling* ke skala 1:250.000. Model FPP tersebut belum dilakukan verifikasi dan validasi secara memadai dimana hasilnya seharusnya disampaikan secara

ringkas dan lengkap sebagai bahan masukan untuk memperbaiki akurasi.

Studi menggunakan citra satelit untuk memantau pertumbuhan tanaman padi telah dilakukan oleh banyak peneliti. Huamin *et al.*, (2009) menggunakan citra MODIS untuk melihat dinamika musiman indek vegetasi dan karakteristik fenologi gandum dan jagung di China. Shi *et al.*, (2013) menggunakan citra satelit MODIS dan Landsat-TM untuk memetakan tanaman padi di China dengan beberapa parameter indeks *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI), *Land Surface Water Index* (LSWI), dan *Normalized Soil Difference Index* (NDSI).

Mostafa *et al.*, (2014) yang memetakan areal tanaman padi di Bangladesh menggunakan NDVI enam belas harian MODIS. Sementara Dao *et al.*, (2015) menggunakan citra Landsat-8 OLI dan MODIS untuk memperkirakan daerah genangan dan lahan sawah di Kamboja. Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan citra resolusi global dan rendah seperti NOAA AVHRR dan MODIS untuk memantau sawah (Xiao *et*

al., 2005). Namun, penggunaan citra satelit resolusi spasial moderat dan global telah dibatasi terutama di lahan sawah yang kecil/sempit, karena ada banyak jenis tutupan lahan dalam satu *pixel*. Hal ini akan mengurangi penilaian akurasi (Strahler *et al.*, 2006). Hafizh AS, (2013) menyimpulkan bahwa data EVI dari MODIS level 1B mempunyai korelasi yang baik 0,879 dengan data pengukuran spektrometer dan dapat digunakan menentukan umur tanaman padi secara global. Sementara metode *Fuzzy* yang dimodifikasi mampu meningkatkan akurasi klasifikasi FPP yang menggunakan citra hiperspektral hingga 10% (Maspiyanti *et al.*, 2013).

Beberapa hasil verifikasi/validasi yang telah dilakukan, seperti oleh Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) dan Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi (BPAH) terhadap model FPP sebelumnya menunjukkan ketelitian (parameter kecocokan fase) sangat bervariasi. Hasil verifikasi BPAH untuk ketelitian fase sekitar 70% sedangkan BBSDLP 75-91% sementara untuk ketelitian luas (fase) 7-70% (Syahbuddin, 2015; Badan Litbang Pertanian, 2015). Namun demikian secara rinci hasil verifikasi tersebut baik menyangkut teknik verifikasi, sebaran titik sampel tiap lokasi, maupun teknik pengambilan sampel belum disampaikan secara resmi dalam forum/jurnal ilmiah. Mengingat sangat bervariasinya tingkat ketelitian model, dilakukan *clustering* terhadap basis data lahan sawah yang digunakan dalam model sehingga diharapkan akurasi model lebih meningkat dan juga bersifat lebih umum (satu model untuk seluruh wilayah Indonesia).

Walaupun demikian, Kementerian Pertanian dalam hal ini BBSDLP telah menggunakan model ini untuk monitoring luas tanam dan panen yang lebih dikenal dengan istilah *Standing Crop* (SC). Dalam perkembangan lebih lanjut BBSDLP telah melakukan terobosan dengan melakukan otomatisasi mulai dari *download* citra MODIS hingga pengolahan data untuk

menghasilkan informasi fase pertumbuhan tanaman. Langkah otomatisasi ini sangat signifikan pengaruhnya terhadap kebutuhan waktu proses data menjadi sangat singkat (Parsa, 2014).

Berkaitan dengan hal tersebut, telah dilakukan pengembangan model (uji validasi) FPP berbasis data resolusi rendah MODIS menggunakan data penginderaan jauh resolusi menengah LANDSAT 8 dan data hasil pengamatan lapangan. Tujuan penelitian adalah untuk menguji tingkat akurasi model FPP berbasis citra MODIS terhadap citra LANDSAT 8 dan data survei lapangan di pulau di Lombok.

## 2 METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi, seleksi data LANDSAT P/R 116066 multiwaktu yang direkam pada Februari sampai Juni 2016 sesuai dengan periode tanam (Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh), seleksi citra MODIS delapan harian tahun 2016 (<http://MODIS.gsfc.nasa.gov/data/>), dan ekstraksi menjadi nilai EVI. Dalam analisis ini juga digunakan data hasil survei lapangan.

Model yang divalidasi dalam kasus ini adalah model FPP berbasis citra MODIS pulau Sulawesi (Dirgahayu *et al.*, 2015). Model tersebut akan diuji di pulau Lombok dengan lokasi pengambilan data lapangan di beberapa kecamatan/kabupaten. Data lapangan yang digunakan adalah informasi FPP aktual di lapangan. Pengambilan sampel di lapangan dilakukan dengan metode stratifikasi berdasarkan perbedaan tujuh kelas EVI maksimum dan enam variasi kelas fase mengikuti kerangka *sampling* terlampir. Koefisien Regresi ( $b_0, b_1, b_2, b_3$ ), Koefisien Determinasi ( $R^2$ ), dan Standar Kesalahan (Se) dari Model Pertumbuhan Tanaman Padi Pulau Sulawesi disajikan pada Tabel 2-1 dan Tabel 2-2 (Dirgahayu, 2015). Model fase vegetatif maupun fase generatif masing-masing terdiri atas tujuh model yang didasarkan atas kisaran EVI maksimum yang dicapai

pada lahan sawah selama tiga tahun 2010-2012.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis citra MODIS delapan harian meliputi ekstraksi indeks (EVI), filter/*smoothing* dengan metode rata-rata bergerak (*moving average*) dan median filter (Shi *et al.*, 2013) kemudian pemetaan fase pertumbuhan (sebelum dan setelah *smoothing*). Selain itu juga dilakukan klasifikasi penutupan/penggunaan lahan pada citra LANDSAT 8 multiwaktu untuk memperoleh fase pertumbuhan padi (Tabel 3-1) untuk analisis akurasi fase pertumbuhan berbasis MODIS tahap I, sedangkan analisis akurasi tahap II (input hasil model yang tidak di-*smoothing*) dan III (input hasil model yang di-*smoothing*).

Diagram alir *desain* penelitian ini dilaksanakan sesuai Gambar 2-1.

Kebaharuan dari penelitian ini adalah penambahan proses filter data *input* (EVI) MODIS sebelum dilakukan

pemetaan fase pertumbuhan tanaman. Berdasarkan hasil analisis tersebut dilakukan penghitungan akurasi model fase pertumbuhan (sebelum dan setelah *smoothing*) menggunakan matrik kesalahan dengan pengujian *point to point* (Parsa, 2013a; Parsa, 2013b). Pengujian bertahap (I, II, dan III) dimaksudkan untuk mengetahui akurasi model terhadap ketiga pembanding (citra LANDSAT, fase MODIS yang tidak *smoothing*, dan fase MODIS yang di-*smoothing*). *Smoothing* ini dilakukan karena citra MODIS multiwaktu yang digunakan masih mengandung kesalahan atmosferik, sehingga nilainya berfluktuasi. Hal ini dibuktikan dengan berbedanya nilai reflektan di *pixel* yang sama (air maupun hutan) beberapa data multiwaktu (terlampir). Untuk analisis phenologi tanaman padi menggunakan data multiwaktu perlu dilakukan proses *smoothing* seperti yang telah dilakukan oleh Mulyono *et al.*, (2015)

Tabel 2-1: HASIL ANALISIS REGRESI PADA FASE VEGETATIF

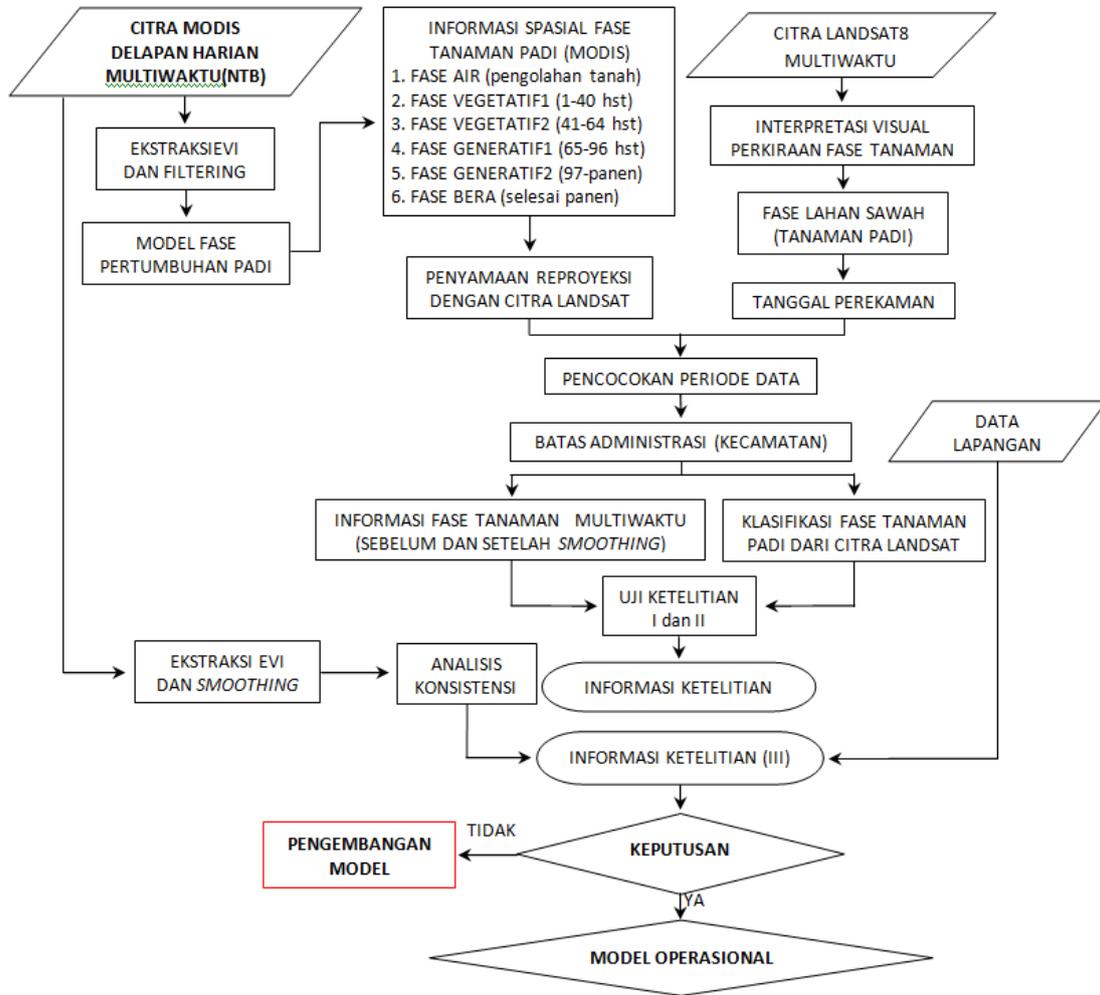
Klas	EVI Max	b0	b1	b2	b3	R <sup>2</sup>	Se
1	0.40-0.45	0.13376	-0.00241	0.00019	-0.0000011	95.5%	0.023
2	0.45-0.50	0.12784	0.00707	-0.00004	0.0000002	98.3%	0.016
3	0.50-0.55	0.12398	0.00346	0.00018	-0.0000022	94.2%	0.036
4	0.55-0.60	0.11859	-0.00570	0.00050	-0.0000046	98.8%	0.021
5	0.60-0.65	0.08094	-0.00260	0.00037	-0.0000031	95.9%	0.044
6	0.65-0.70	0.11121	-0.00523	0.00055	-0.0000051	99.1%	0.022
7	0.70-0.88	0.14583	-0.01036	0.00077	-0.0000073	97.4%	0.042

Tabel 2-2: HASIL ANALISIS REGRESI PADA FASE GENERATIF

Klas	EVI Max	b0	b1	b2	b3	R <sup>2</sup>	Se
1	0.40-0.45	-0.77637	0.05230	-0.00069	0.0000027	97.3%	0.016
2	0.45-0.50	0.18685	0.02349	-0.00041	0.0000018	98.4%	0.016
3	0.50-0.55	0.71441	0.00050	-0.00008	0.0000003	96.0%	0.018
4	0.55-0.60	-1.13642	0.06559	-0.00078	0.0000028	96.8%	0.022
5	0.60-0.65	-2.20627	0.10280	-0.00118	0.0000041	98.9%	0.017
6	0.65-0.70	-1.40893	0.08608	-0.00110	0.0000041	98.5%	0.022
7	0.70-0.88	-1.55683	0.09017	-0.00110	0.0000040	97.5%	0.030

Mengingat periode informasi fase pertumbuhan (delapan harian) tidak sama dengan periode perekaman citra LANDSAT (enam belas hari) maka terlebih dulu dilakukan pemilihan periode FPP yang

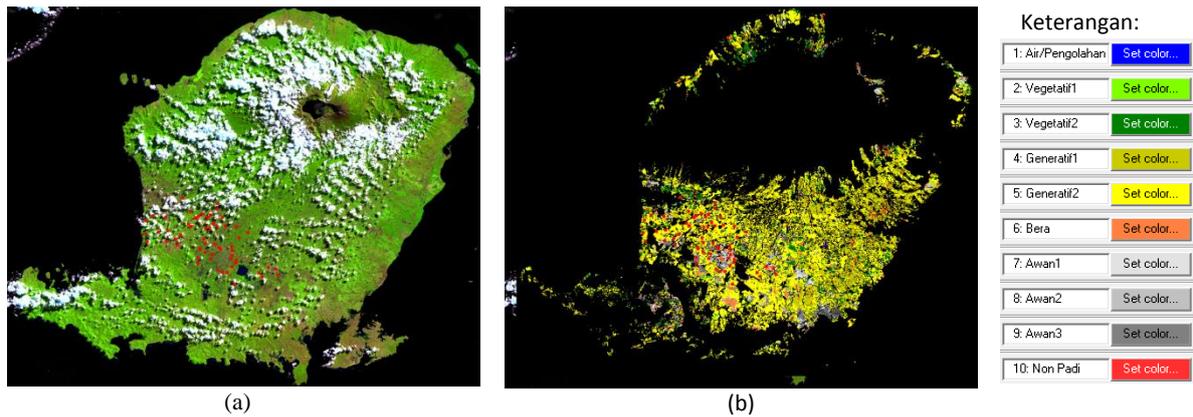
bersesuaian dengan tanggal perekaman LANDSAT. Beberapa pasangan yang bersesuaian antara citra LANDSAT dengan fase tanaman padi Pulau Lombok (Tabel 2-3).



Gambar 2-1: Diagram alir Analisis model FPP berbasis citra MODIS

Tabel 2-3: DAFTAR PASANGAN CITRA LANDSAT DAN INFORMASI FASE TANAMAN PADI PULAU LOMBOK

No.	Tanggal Perekaman Citra LANDSAT	Informasi Fase Tanaman Padi Periode	Tanggal
1.	1 April 2016	29 Maret	29 Maret – 5April
2.	17 April 2016	14 April	14 – 21 April
3.	3 Mei 2016	30 April	30 April - 7 Mei
4.	19 Mei 2016	16 Mei	16 – 23 Mei
5.	4 Juni 2016	1 Juni	1 – 8 Juni 2016
6.	20 Juni 2016	17 Juni	17 – 24 Juni
7.	6 Juli 2016	3 Juli	3 – 10Juli
8.	22Juli 2016	19 Juli	19 – 26Juli



Gambar 2-2: Citra komposit kanal 6,5,4 LANDSAT822 Juli 2016 dengan titik survei (a) dan informasi fase pertumbuhan padi periode 19-26 Juli 2016 (b) Pulau Lombok

Secara teknis validasi informasi fase tanaman padi ini dilakukan secara bertahap, tahap pertama menggunakan citra resolusi menengah LANDSAT, yaitu antara fase pertumbuhan citra MODIS periode 19-26 Juli 2016 dengan citra LANDSAT 8, 22 Juli 2016. Pada tahap berikutnya fase pertumbuhan MODIS ini diverifikasi menggunakan data lapangan yang diambil pada 19-23 Juli 2016. Pengambilan data lapangan dilakukan di sebelas kecamatan, meliputi Kecamatan Gerung, Sekarbela, Labuapi, Kediri, Sandubaya, Narmada (Lombok Barat), dan Kecamatan Pringgarata, Jonggat, Praya, Praya Barat, Praya Tengah (Lombok Tengah). Data lapangan yang diambil adalah kondisi lahan sawah/fase tanaman padi. Beberapa hal yang dipertimbangkan dalam penentuan titik survei adalah kelas EVI maksimum lahan sawah di pulau Lombok dan luas area (fase MODIS), dimana dari 80 titik survei yang direncanakan hanya mampu menyelesaikan 72 titik survei.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis citra LANDSAT dilakukan untuk identifikasi kondisi lahan sawah ataupun fase tanaman padi, jika hanya menggunakan satu citra saja hanya akan dapat identifikasi air, vegetasi dan bera saja, tetapi dengan menggunakan beberapa citra multiwaktu (16 harian) maka fase tanaman akan dapat diketahui. Metode ini diterapkan dengan menggunakan asumsi bahwa varietas

padi yang ditanam petani adalah sama yaitu Ciherang dengan umur panen 120 hari. Hal ini sesuai dengan referensi yang diperoleh bahwa lebih dari 90% areal persawahan di Indonesia telah ditanami varietas unggul baru (VUB) yang dihasilkan oleh Badan Litbang Pertanian. Beberapa VUB yang tidak asing bagi masyarakat seperti: IR64, Ciherang, Cibogo, Cigeulis, dan Ciliwung merupakan yang paling banyak ditanam di Indonesia. Secara umum, varietas Ciherang masih menjadi primadona bagi petani di Indonesia bahkan mencapai 47% dari seluruh varietas yang telah dilepas oleh Badan Litbang Pertanian (<http://pengetahuanumumindonesiadandunia.blogspot.co.id/2013/>). Umur panen untuk varietas Ciherang adalah 116-125 hari setelah sebar (hss) (Badan Litbang Pertanian, 2012). Jika pembibitan berlangsung selama 21 hari, maka panen varietas Ciherang 95-104 hari setelah tanam (hst) atau rata-rata 99 hari.

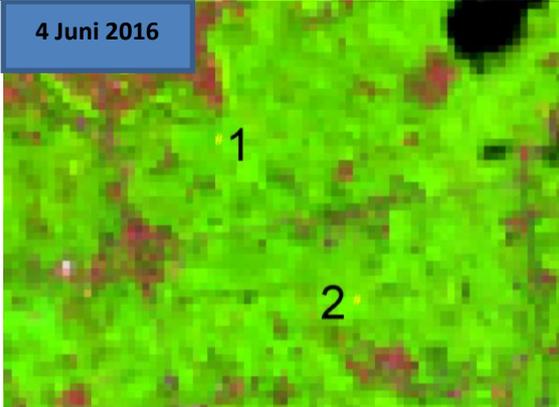
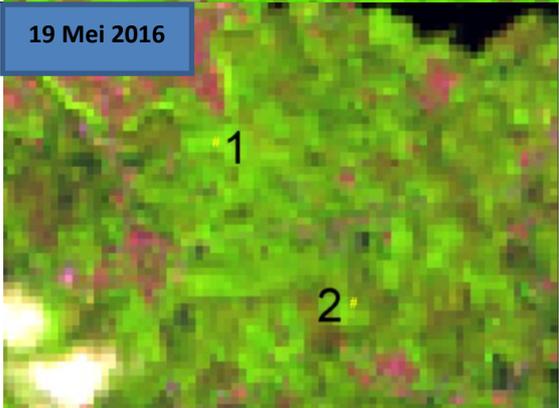
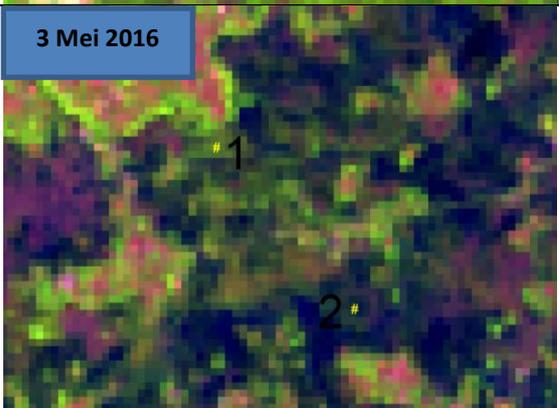
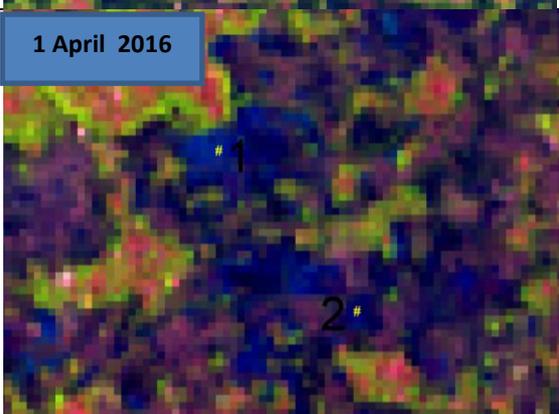
Secara umum identifikasi tanaman padi di lahan sawah pada citra LANDSAT multiwaktu hanya bersifat global, dimana hanya dapat mengidentifikasi air, vegetasi dan bera dan perubahannya dari waktu ke waktu. Berdasarkan pengalaman, untuk identifikasi fase airpun tidak semudah yang dibayangkan selama ini, karena ternyata tanaman padi yang baru tanam hingga umur satu minggu sulit dibedakan dengan lahan sawah yang sedang masa persiapan tanam (fase air) (Parsa, 2015). Selain sulit

dibedakan dengan fase vegetatif 1 (awal) terutama sampai umur tanaman satu minggu, ternyata fase air juga seringkali sulit dipisahkan dengan fase bera jika bera tersebut dalam kondisi lembab. Oleh karena itu dalam identifikasi ini fase air termasuk di dalamnya padi umur satu minggu, sedangkan fase bera

termasuk di dalamnya bera yang lembab. Walaupun ada kesulitan sebagaimana disebutkan di atas, namun dengan analisis citra multiwaktu yang dihubungkan dengan umur tanaman padi diharapkan kesulitan tersebut dapat diminimalisir (Tabel 3-1).

Tabel 3-1: CONTOH PERKIRAANFASE TANAMAN PADI DARI CITRA LANDSAT MULTIWAKTU

<p><b>22 Juli 2016</b></p>	<p>Asumsi panen pada umur 100 hari maka, Titik 1 bera/ sudah panen (umur lebih dari 100 hst)</p> <p>Titik 2 bera/ sudah panen (umur lebih dari 100 hst)</p>
<p><b>6 Juli 2016</b></p>	<p>Asumsi panen pada umur 100 hari maka, Titik 1 bera/ sudah panen (umur <math>\geq</math> 100 hst)</p> <p>Titik 2 belum panen umur <math>\geq</math>97 hari (generatif 2)</p>
<p><b>20 Juni 2016</b></p>	<p>Kenampakan hijau: Titik 1 bayangan awan, perkiraan umur <math>\geq</math>84 hst (fase generatif 1)</p> <p>Titik 2 hijau, perkiraan umur <math>\geq</math>81 hari (fase generatif 1)</p>

<p><b>4 Juni 2016</b></p> 	<p>Kenampakan hijau: Titik 1 hijau, perkiraan umur <math>\geq 68</math> hst (fase generatif 1)</p> <p>Titik 2 hijau, perkiraan umur <math>\geq 65</math> hari (fase generatif 1)</p>
<p><b>19 Mei 2016</b></p> 	<p>Kenampakan hijau: Titik 1 hijau, perkiraan umur <math>\geq 52</math> hst (fase vegetatif 2)</p> <p>Titik 2 hijau, perkiraan umur <math>\geq 49</math> hari (fase vegetatif 2)</p>
<p><b>3 Mei 2016</b></p> 	<p>Kenampakan hijau: Titik 1 hijau, perkiraan umur <math>\geq 36</math> hst (fase vegetatif 1)</p> <p>Titik 2 hijau, perkiraan umur <math>&gt; 33</math> hari (fase vegetatif 1)</p>
<p><b>1 April 2016</b></p> 	<p>Kenampakan biru: Titik 1 biru kehijauan, perkiraan umur <math>\geq 20</math> hst (fase vegetatif 1)</p> <p>Titik 2 biru gelap, perkiraan umur <math>&lt; 17</math> hst (vegetatif 1)</p>

Identifikasi awal fase padi didasarkan pada kenampakan air pada citra LANDSAT untuk kemudian dilanjutkan dengan citra yang direkam berikutnya sampai mencapai fase bera ataupun fase air musim tanam

berikutnya. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa dalam selang waktu 6-7 periode (16 harian) LANDSAT (90-105 hari) sudah akan ketemu fase bera. Dengan memperhitungkan umur tanaman padi

(100 hst) maka fase tanaman padi pada setiap periode LANDSAT dapat diketahui, hanya saja fase yang dimaksud di sini bukan fase tanaman sebagaimana klasifikasi dari MODIS, tetapi hanya fase tanaman secara umum yaitu fase air, vegetatif, dan bera. Jika pada suatu area lokasi pada citra LANDSAT (1) diidentifikasi sebagai air, tetapi pada lima periode data (80 hari) berikutnya ternyata sudah menjadi fase bera, jika asumsi panen 100 hari, maka dengan demikian fase air yang diidentifikasi pada citra 1 April sesungguhnya sudah ada tanaman berumur 20 hari dan fase tanaman pada setiap periode citra LANDSAT dapat perkiraan dengan menghitung mundur umurnya. Jika pada citra ke enam periode data (96 hari) berikutnya sudah menjadi fase bera, maka dengan asumsi yang sama umur

tanaman pada citra 1 April sekitar empat hari, hal ini berarti bahwa fase air yang teridentifikasi pada citra 1 April tersebut sebenarnya sudah ditanami.

Pengujian tahap I yang dilakukan dua kali, pertama terhadap fase periode 30 April-7 Mei dengan data LANDSAT 3 Mei menunjukkan bahwa dari 72 titik sampel hanya 41 titik yang benar dan 30 titik lainnya salah dan satu titik berawan sehingga akurasi keseluruhan hanya 59% (Tabel 3-2). Sedangkan pengujian kedua terhadap fase periode 19-26 Juli dengan data LANDSAT 22 Juli menunjukkan bahwa dari 72 titik survei, hanya 50 titik yang dapat dievaluasi karena 22 titik berawan, dimana dari 50 titik tersebut hanya 29 titik yang benar dan 21 titik salah sehingga akurasi keseluruhan hanya 58% (Tabel 3-3).

Tabel 3-2: HASIL PENGUJIAN MATRIKS KESALAHAN ANTARA FASE PERIODE 30 APRIL-6 MEI DENGAN DATA LANDSAT 3 MEI 2016

KELAS	1	2	3	4	5	6	Jumlah
	Air	Vegetatif1	Vegetatif2	Generatif1	Generatif2	Bera	
1 Air		2	2				
2 Vegetatif1		31	12		3	1	
3 Vegetatif2			8		2		
4 Generatif1							
5 Generatif2					2		
6 Bera		3	3				
AKURASI KESELURUHAN							59%

Keterangan: Horizontal adalah kelas dari MODIS, vertikal adalah kelas dari LANDSAT

Tabel 3-3: HASIL PENGUJIAN MATRIKS KESALAHAN ANTARA FASE PERIODE 19-26 JULI DENGAN DATA LANDSAT 19 JULI 2016

KELAS	1	2	3	4	5	6	Jumlah
	Air	Vegetatif1	Vegetatif2	Generatif1	Generatif2	Bera	
1 Air							
2 Vegetatif1		1					
3 Vegetatif2							
4 Generatif1				3			
5 Generatif2	1			6	15	10	
6 Bera		1			2	10	
Total Akurasi							58%

Keterangan: Horizontal adalah kelas dari MODIS, vertikal adalah kelas dari LANDSAT

Sementara itu pengujian tahap II yang dilakukan antara fase 19-16 Juli dengan data lapangan hasil survei (Tabel 3-4) menunjukkan bahwa dari 50 titik ternyata hanya 26 titik yang benar dan 24 titik salah sehingga akurasi secara keseluruhan hanya 53 %. Rendahnya akurasi ini diduga disebabkan karena citra MODIS *input* yang digunakan tidak diproses *smoothing* terlebih dulu sebelum proses ekstrak EVI dan klasifikasi fase. Dugaan tidak adanya *smoothing* sebagai penyebab rendahnya akurasi model dibuktikan dengan hasil analisis tahap III terhadap EVI citra MODIS periode Januari-Juli 2016 setelah *smoothing* yang menunjukkan pola yang konsisten sebagai pola EVI tanaman padi (Gambar 3-1, 3-2, dan 3-3). Akurasi fase dari data hasil *smoothing* yang diuji pada titik-titik sampel (survei) menunjukkan peningkatan akurasi keseluruhan menjadi 86% (Tabel 3-5). Nilai akurasi tersebut memang cukup baik, tetapi masih perlu ditingkatkan lagi dengan berbagai upaya, misalnya dengan perbaikan model menggunakan

data citra yang mempunyai resolusi yang lebih baik dari MODIS misalnya citra LANDSAT.

Untuk diketahui bahwa model yang sempat “operasionalkan” oleh Instansi terkait belum memasukkan proses *smoothing* data (EVI). Hal inilah yang patut diduga sebagai penyebab rendahnya akurasi model. Hal ini dapat dibuktikan dengan meningkatnya akurasi sampai 86% setelah dilakukan penambahan proses *smoothing* data (EVI) (Tabel 3-5). Penambahan proses *smoothing* ini dapat dikategorikan sebagai pengembangan model. Jadi dengan demikian dapat disampaikan bahwa model fase pertumbuhan padi berbasis citra MODIS untuk pulau Lombok ini setelah dilakukan perbaikan prosedur teknis dengan menambahkan *smoothing* data ini mempunyai akurasi cukup baik.

Jika diasumsikan *error* geometri MODIS lebih kecil atau sama dengan setengah *pixel*, maka angka *error* 14% ini di lapangan dapat menjadi lebih besar atau sama dengan 28% dengan luas satu piksel MODIS sebesar 6,25 Ha.

Tabel 3-4: HASIL PENGUJIAN MATRIKS KESALAHAN ANTARA FASE PERIODE 19-26 JULI (SEBELUM *SMOOTHING*) DENGAN DATA SURVEI LAPANGAN 19-25 JULI 2016

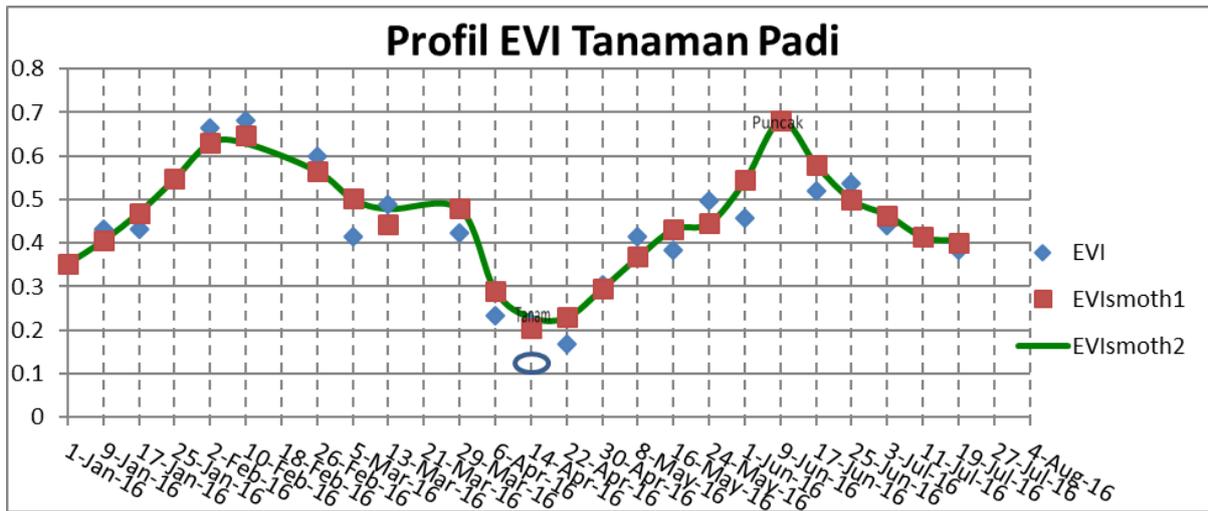
KELAS	1	2	3	4	5	6	Jumlah
	Air	Vegetatif1	Vegetatif2	Generatif1	Generatif2	Bera	
1 Air					1		
2 Vegetatif1			2	1			
3 Vegetatif2					2		
4 Generatif1			1		2		
5 Generatif2	1			3	26	1	
6 Bera				2	7		
Total Akurasi							53%

Keterangan: Horizontal adalah kelas dari MODIS, vertikal adalah kelas dari survei lapangan

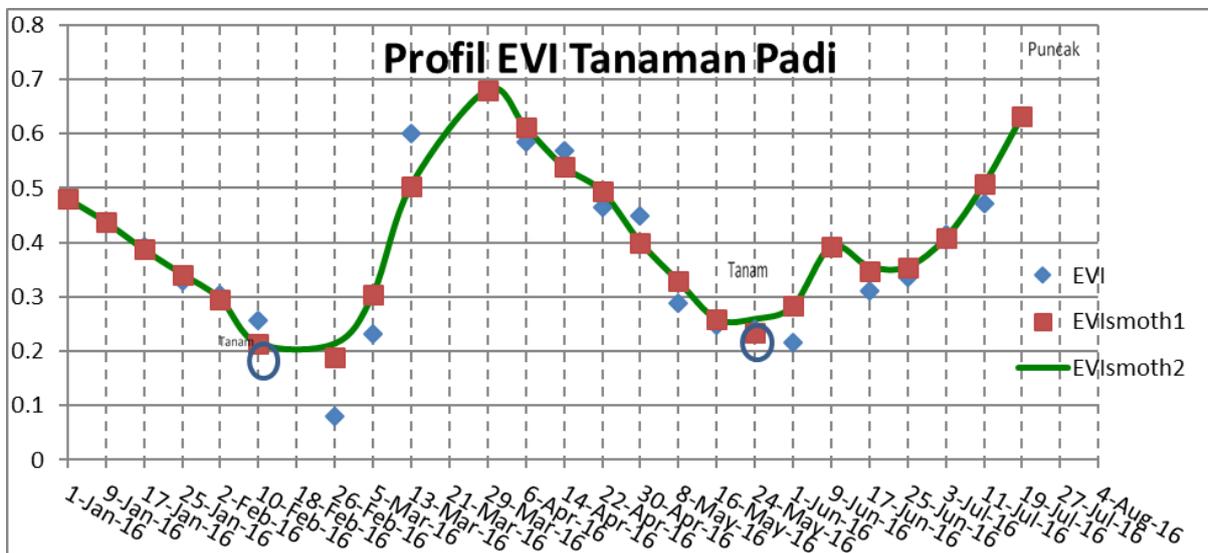
Tabel 3-5: HASIL PENGUJIAN MATRIKS KESALAHAN ANTARA FASE PERIODE 19-26 JULI HASIL *SMOOTHING* DENGAN DATA SURVEI LAPANGAN 19-25 JULI 2016

KELAS	1	2	3	4	5	6	Jumlah
	Air	Vegetatif1	Vegetatif2	Generatif1	Generatif2	Bera	
1 Air							
2 Vegetatif1					1	1	
3 Vegetatif2			1		2		
4 Generatif1				2			
5 Generatif2			1		26		
6 Bera			1	3		26	
AKURASI KESELURUHAN							86%

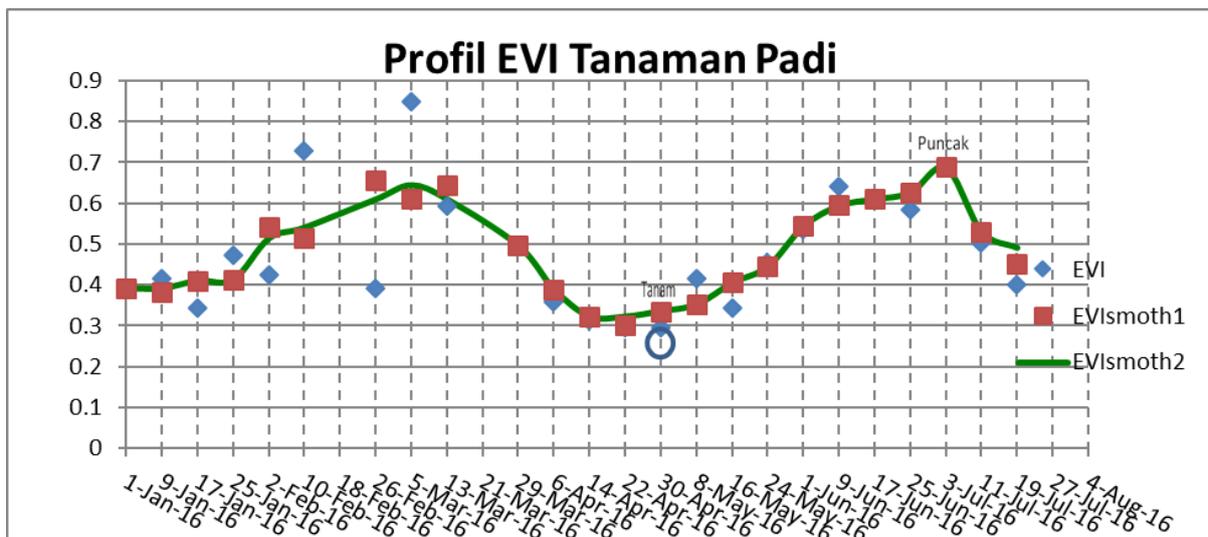
Keterangan: Horizontal adalah kelas dari MODIS, vertikal adalah kelas dari survei lapangan



Gambar 3-1: Grafik pola EVI citra MODIS pada titik sampel ke-15 di Kecamatan Gerung Lombok Barat



Gambar 3-2: Grafik pola EVI citra MODIS pada titik sampel ke-22 di Kecamatan Narmada Lombok Barat



Gambar 3-3: Grafik pola EVI citra MODIS pada titik sampel ke-37 di Kecamatan Jonggat Lombok Tengah

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif dan pembahasan yang telah disampaikan dapat disimpulkan bahwa akurasi model fase pertumbuhan padi berbasis citra MODIS di Pulau Lombok adalah sebesar 86 %. Akurasi tersebut dihasilkan setelah melalui proses penghalusan (*smoothing*) terhadap data EVI multiwaktu sebelum diekstraksi informasi spasial fase pertumbuhannya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kapusfatja atas arahan dan saran yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini, demikian juga Kapoklit dan rekan-rekan peneliti yang telah memberikan saran dan masukan pada pelaksanaan penelitian maupun penulisan makalah ini.

#### DAFTAR RUJUKAN

Badan Litbang Pertanian, 2012. *Varietas-Padi-Unggulan*. Majalah Agroinovasi. Sinartani. Edisi 25-31 Januari 2012 No. 3441 Tahun XLII. 7.

Badan Litbang Pertanian, 2015. *Inovasi Pertanian untuk Kemandirian Pangan dan Energi*. Laporan Tahunan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Bank Data Penginderaan Jauh Nasional – BDPJN LAPAN, diunduh dari <http://bdpjn-catalog.lapan.go.id/catalog/index.php> [Februari-Juni 2016].

Dao, PD., Yuei-An Liou, 2015. *Object-Based Flood Mapping and Affected Rice Field Estimation with LANDSAT 8 OLI and MODIS Data*. Remote Sensing Journal. 2015, 7(5), 5077-5097.

Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, 2016. *Pengelolaan Data Lahan Sawah, Alat dan Mesin Pertanian, dan Jaringan Irigasi*. Bahan Presentasi pada Pertemuan Tahunan Forum Komunikasi Statistik dan Sistem Informasi Pertanian. Solo, 6-8 April 2016.

Dirgahayu D., H Noviar, S Anwar, 2014. *Model Pertumbuhan Tanaman Padi di Pulau*

*Sumatera Menggunakan Data EVI MODIS Multitemporal*. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh: 333-343.

Dirgahayu D., H., Noviar, S., Anwar, 2015. *Pengembangan Model Pertumbuhan Tanaman Padi Menggunakan Data EVI MODIS Multitemporal (Studi Kasus di Pulau Sulawesi)*. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh: 408-424.

Dirgahayu D., Nr L., Adhyani, Nugraheni S., 2005. *Model Pertumbuhan Tanaman Padi Menggunakan Citra MODIS untuk Pendugaan Umur Padi*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV, Surabaya.

Hafizh AS., 2013. *Analisa Pertumbuhan Padi Menggunakan Algoritma EVI dan NDVI pada Citra Multispektral*. Jurusan Teknik Geomatika. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Huamin, Y., Y., Fu., Xiangming Xiao, He Qing Huang, Hongli He, L., Ediger, 2009. *Modeling Gross Primary Productivity for Winter Wheat-Maize Double Cropping System using MODIS Time Series and CO2 Eddy Flux Tower Data*. Agriculture, Ecosystems and Environment Journal. China: 391-400.

Maspiyanti F., M. I., Fanany, A M., Arymurthy, 2013. *Klasifikasi Fase Pertumbuhan Padi Berdasarkan Citra Hiperspektral dengan Modifikasi Logika Fuzzy (Paddy Growth Stages Classification Based on Hyperspectral Image Using Modified Fuzzy Logic)*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital Vol. 10 No. 1, Juni 2013. ISSN 1412-8098: 39-46.

MODIS Moderate Imaging Spectro radiometer. diunduh dari <http://MODIS.gsfc.nasa.gov/data/> [Februari-Juni 2016].

Mostafa, K., Mosleh and Q K., Hassan, 2014. *Development of a Remote Sensing Based "Boro" Rice Mapping System*. Remote Sensing Journal. Department of Geomatics Engineering, Schulich School of Engineering, University of Calgary, 2500 University Dr NW, Calgary, Alberta T2N 1N4, Canada: 1938-1953.

- Mulyono, S., Harisno, Mahfudz Amri, M., Ivan Fanany, T., Basaruddin, 2015. *Kernel-Based Regularized Learning for Time-Invariant Detection of Paddy Growth Stages from MODIS Data*. 7<sup>th</sup> Asian Conference Proceeding Part 1, ACIIDS 2015. Indonesia.
- Parsa, IM., 2013a. *Optimalisasi Parameter Segmentasi untuk Pemetaan Lahan Sawah Menggunakan Citra Satelit LANDSAT (Studi kasus Padang Pariaman-Sumatera Barat dan Tanggamus-Lampung)*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital Vol. 10 No. 1, Juni 2013. ISSN 1412-8098: 27-38.
- Parsa, IM., 2013b. *Kajian Pendekatan Teori Probabilitas untuk Pemetaan Lahan Sawah Berbasis Perubahan Penutup Lahan Citra LANDSAT Multiwaktu (Studi Kasus Daerah Tanggamus, Lampung)*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital Vol. 10 No. 2, Desember 2013. ISSN 1412-8098: 113-121.
- Parsa, IM., 2014. *Ujicoba Model Pemetaan lahan Sawah Berbasis Perubahan Penutup Lahan Citra LANDSAT Mosaik Tahunan di Jawa Barat*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital Vol. 11 No. 1, Juni 2014. ISSN 1412-8098: 15-28.
- Parsa, IM., 2015. *Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh Resolusi Menengah LANDSAT untuk Uji Ketelitian Informasi Spasial Fase Pertumbuhan Padi Berbasis Citra MODIS*. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2015. Bogor.
- Shi JJ., Huang JJ, Feng Z., 2013. *Multi-year Monitoring of Paddy Rice Planting Area in Northeast China using MODIS Time Series Data*. China. J Zhejiang Univ Sci B. 2013 Oct; 14(10): 934–946.
- Strahler, A. H., Boschetti, L., Foody, G.M., Friedl, M.A., Hansen, M.C., Herold, M., Mayaux, P., Morisette, J.T., Stehman, S.V. and Woodcock, C.E., 2006. *Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps*. Office for Official Publications of the European Communities.
- Syahbuddin, H., 2015. *Sistem Informasi Katam Terpadu versi 2.1 dan Standing Crop. Verifikasi Standing Crop di Empat Kabupaten Jawa Barat*. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Kementerian Pertanian. Bogor.
- USGS LANDSAT Mission, diunduh dari [http://LANDSAT.usgs.gov/documents/LDCM\\_Brochure/](http://LANDSAT.usgs.gov/documents/LDCM_Brochure/) [22 Januari 2013].
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Frohling, S., Li, C., Salas, W., and Moore, B., 2005. *Mapping Paddy Rice Agriculture in Southern China Using Multi-Temporal MODIS Images*. Remote Sensing of Environment, 95, 480–492.

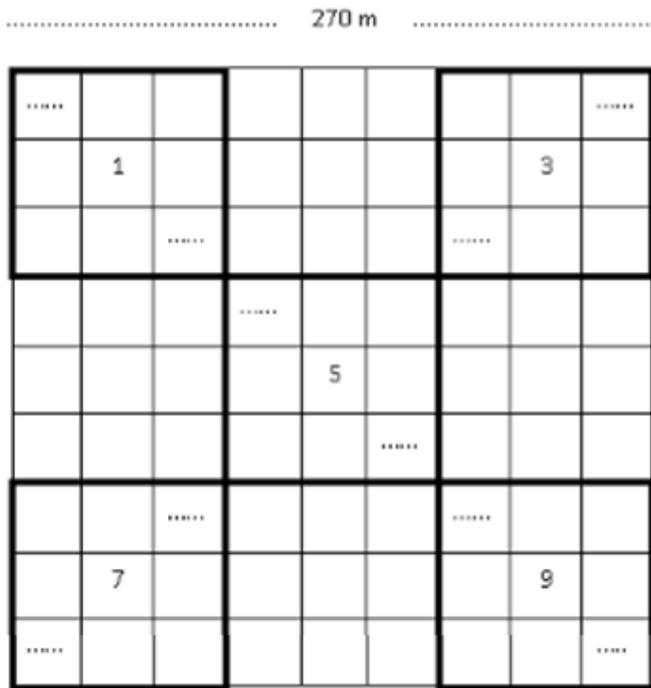
**LAMPIRAN**

Lampiran 1. Nilai reflektan objek air dan hutan pada citra multiwaktu MODIS delapan harian (periode 1-41) tahun 2016

Objek	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7	Titik 8
Air laut	B1:01 3	B1:01 0	B1:01 3	B1:01 1	B1:01 2	B1:01 3	B1:01 8	B1:01 24
	B2:09 6	B2:09 15	B2:09 0	B2:09 2	B2:09 3	B2:09 4	B2:09 5	B2:09 6
	B3:17 5	B3:17 11	B3:17 66	B3:17 21	B3:17 51	B3:17 53	B3:17 10	B3:17 31
	B4:25 148	B4:25 133	B4:25 102	B4:25 30	B4:25 0	B4:25 0	B4:25 91	B4:25 9
	B5:33 16	B5:33 0	B5:33 0	B5:33 0	B5:33 9	B5:33 0	B5:33 0	B5:33 49
	B6:41 3	B6:41 63	B6:41 11	B6:41 2	B6:41 23	B6:41 18	B6:41 1	B6:41 109
Hutan	B1:01 75	B1:01 80	B1:01 160	B1:01 142	B1:01 104	B1:01 114	B1:01 106	B1:01 96
	B2:09 54	B2:09 96	B2:09 89	B2:09 180	B2:09 129	B2:09 136	B2:09 120	B2:09 68
	B3:17 242	B3:17 255	B3:17 125	B3:17 100	B3:17 152	B3:17 144	B3:17 110	B3:17 65
	B4:25 152	B4:25 60	B4:25 201	B4:25 141	B4:25 255	B4:25 127	B4:25 255	B4:25 91
	B5:33 204	B5:33 142	B5:33 148	B5:33 202	B5:33 199	B5:33 239	B5:33 150	B5:33 152
	B6:41 150	B6:41 215	B6:41 182	B6:41 255	B6:41 123	B6:41 191	B6:41 191	B6:41 152

Keterangan: B1; citra MODIS tanggal 1 Januari 2016, B2: tanggal 9 Januari, B3: tanggal 17 Januari, B4: tanggal 25 Januari, B5: tanggal 2 Februari, dan B6: tanggal 10 Februari 2016

Lampiran 2. Kerangka sampling di lapangan



Sampel yang diamati di lapangan adalah piksel 1, 3, 5, 7, dan 9.

**Pedoman Penulisan Jurnal Penginderaan Jauh)**  
**JUDUL MAKALAH DITULIS DENGAN HURUF KAPITAL TEBAL**  
**SECARA SINGKAT DAN JELAS, (Studi Kasus : apabila ada)**  
**(16 pt, Britannic Bold )**

**Judul dibuat dalam 2 bahasa (Indonesia dan Inggris), apabila**  
**tulisan dalam bahasa Indonesia, maka judul dalam bahasa**  
**Inggris ditulis dalam tanda kurung**  
**(16 pt, Britannic Bold )**

**Penulis Pertama<sup>1</sup>, Penulis Kedua<sup>2</sup>, dst<sup>n</sup> ← (Nama Penulis Tanpa gelar)**  
**(10,5 pt, Franklin Gothic Medium, bold)**

<sup>1</sup>Instansi Penulis Pertama  
<sup>2</sup>Instansi Penulis Kedua  
dst<sup>n</sup>....  
**(10,5 pt, Franklin Gothic Medium)**

**e-mail: e-mail penulis pertama ← (berwarna hitam)**  
**(10,5 pt, Franklin Gothic Medium)**

Diterima : ..... (tanggal bulan tahun); Disetujui : ..... (tanggal bulan tahun); Diterbitkan : ..... (tanggal bulan tahun)  
**(9 pt, Franklin Gothic Medium)**

**ABSTRACT**

**(10,5 pt, Bookman Old Style, bold)**

Abstract is a summary of the most important elements of the paper, written in one paragraph in the one column of a maximum of 200 words. Abstract made in two languages written with the Bookman Old Style 9 pt. If the paper written in Indonesian, the Indonesian abstract written first then followed by English abstract and vice versa. The title "ABSTRAK" or "ABSTRACT" made with uppercase letters, and bold.

Keywords: *guidence, author, journal* ← (minimal 3 keywords)  
**(9pt, Bookman Old Style, italic)**

**ABSTRAK**

**(10,5 pt, Bookman Old Style, bold)**

Abstrak merupakan ringkasan elemen-elemen terpenting dari naskah, ditulis dalam satu paragraf dalam 1 kolom maksimal 200 kata. Abstrak dibuat dalam 2 bahasa ditulis dengan huruf 9 pt, Bookman Old Style. Apabila naskah dalam Bahasa Indonesia, maka abstrak dengan Bahasa Indonesia ditulis terlebih dahulu dilanjutkan abstrak Bahasa Inggris dan sebaliknya. Judul "ABSTRAK" atau "ABSTRACT" dibuat dengan huruf besar, *bold*.

Kata kunci: *panduan, penulis, jurnal* ← (minimal 3 kata kunci)  
**(9pt, Bookman Old Style, italic)**

**1 PENDAHULUAN**

**(10,5pt, Bookman Old Style, bold)**

Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris. Naskah diketik dalam Microsoft Word dengan 1 kolom untuk abstrak dan 2 kolom untuk isi. Ukuran kertas

A4 dengan ukuran panjang (*height*) 29,7 cm, lebar (*width*) 21 cm dengan dimensi *Top* 3 cm, *Bottom* 2,5 cm, *Inside* 2,5 cm, *Outside* 2 cm, *Gutter* 1 cm, *Header* 1 cm dan *Footer* 1 cm. Jenis Huruf Bookman Old Style 10,5 pt, dan spasi (*line spacing*) 1. Panjang naskah tidak

melebihi 10 halaman termasuk tabel dan gambar.

Kerangka Tulisan disusun dengan urutan : Judul, Identitas Penulis, Abstrak, Kata Kunci, Pendahuluan, Metode, Hasil Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terimakasih, dan Daftar Pustaka.

## 2 METODOLOGI

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

Menguraikan tentang metode yang digunakan dalam penelitian termasuk data, peralatan, teori, diagram alir, beserta lokasi penelitian.

### 2.1 Lokasi dan Data

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

### 2.2 Standarisasi data

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

### 2.3 Metode Penelitian

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

Persamaan matematis atau formula diberi nomor secara berurutan yang diletakkan di ujung kanan dalam tanda kurung. Apabila penulisan persamaan lebih dari satu baris maka penulisan nomor diletakkan pada baris terakhir. Penggunaan huruf sebagai simbol matematis dalam naskah ditulis dengan huruf miring (*Italic*) seperti  $x$ . Penjelasan persamaan diulas dalam naskah. Penurunan persamaan matematis atau formula tidak perlu dituliskan secara detil, cukup diberikan bagian yang terpenting, metode yang digunakan dan hasilnya.

$$D(t) = \Delta H(t) - Sq(t, m) \quad (1-1)$$

dengan  $D(t)$  tingkat gangguan geomagnet,  $\Delta H(t)$  variasi medan magnet komponen horizontal,  $Sq(t, m)$  variasi hari tenang pada waktu  $t$  dan bulan  $m$ .

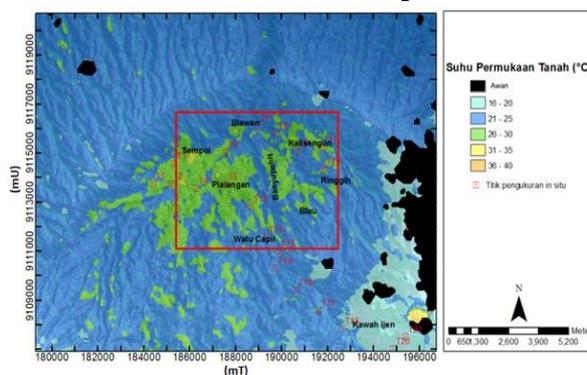
## 3 HASIL PEMBAHASAN

(10,5pt, Bookman Old Style, bold)

Tabel dibuat ringkas dan diberi judul yang singkat tetapi jelas hanya menyajikan data yang esensial dan mudah dipahami. Tabel diberi catatan secukupnya, termasuk sumbernya, sehingga tabel mampu menjelaskan informasi yang disajikan secara mandiri. Setiap tabel diberi nomor secara berurutan dan diulas di dalam naskah. Judul tabel diketik dengan jenis huruf Bookman Old Style 10,5 pt dan pada tulisan "Tabel 1:" "Tabel 2:" dan seterusnya diketik tebal.

Tabel yang ukurannya melebihi satu kolom, maka dapat menempati area dua kolom. Tabel tidak boleh dalam bentuk "picture", harus dalam bentuk tabel. Judul tabel dituliskan pada bagian atas tabel, rata tengah dan diberi tanda titik (.) pada akhir judul tabel.

Gambar, Grafik dan Foto harus tajam dan jelas agar cetakan berkualitas baik. Semua simbol di dalamnya harus dijelaskan. Seperti halnya tabel, keterangan pada gambar, grafik atau foto harus mencukupi agar tersaji secara mandiri. Gambar, grafik dan foto harus diulas di dalam naskah. Seperti halnya tabel, gambar, grafik dan foto yang ukurannya melebihi satu kolom, maka dapat menempati area dua kolom. Gambar, grafik dan foto memiliki kedalaman minimal 300 dpi.



Gambar 3-5: Suhu permukaan tanah Kompleks Ijen dan fokus daerah penelitian (kotak merah) berdasarkan citra thermal Landsat 8 OLI 8 Mei 2015 dan 21 titik pengukuran di lapangan

(9 pt, Bookman Old Style, bold)

Tabel 2-2: SATURASI RADIANSI TIRS DAN SPESIFIKASI NOISE-EQUIVALENT-CHANGE-IN-TEMPERATURE (NEAT) (IRON *et al.*, 2012)

(9 pt, Bookman Old Style, bold)

Kanal	Saturasi temperature	Saturasi radians	NEAT pada 240 K	NEAT pada 300 K	NEAT pada 360 K
10	360 K	20,5 W/m <sup>2</sup> sr μm	0,80 K	0,4 K	0,27 K
11	360 K	17,8 W/m <sup>2</sup> sr μm	0,71 K	0,4 K	0,29 K

#### 4 KESIMPULAN

Hal-hal penting dalam naskah yang merupakan kesimpulan dari hasil penelitian atau kajian.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Wajib dituliskan penulis, ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis baik penyediaan data, pengerjaan data, serta Tim Redaksi Jurnal PJPDC dan Mitra Bestari.

#### DAFTAR RUJUKAN

Referensi hendaknya dari sumber yang jelas dan terpercaya. Setiap referensi yang tercantum dalam daftar pustaka harus dikutip (disitir) pada naskah dan sebaliknya setiap kutipan harus tercantum dalam daftar pustaka. Penulisan acuan dalam pembahasan sebaiknya menggunakan “sistem penulis-tahun” yang mengacu pada karya pada daftar pustaka. Kutipan buku dalam bentuk saduran untuk satu sampai dua penulis ditulis nama akhir penulis dan tahun. Contoh: Muhammad Nasir dituliskan (Nasir, 2009).

Referensi primer lebih dari 80 % dan diterbitkan dalam 5-10 tahun terakhir. Referensi yang dicantumkan dalam naskah mengikuti pola baku dengan disusun menurut abjad berdasarkan nama (keluarga) penulis pertama dan tahun publikasi, dengan sistim sitasi *American Physiological Association 6th Edition*. Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut :

##### Artikel dalam Jurnal (Jurnal Primer)

Afandi, A., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. 2013. *Identifikasi Reservoar Panasbumi Dengan Metode Geomagnetik Daerah Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten*

*Bondowoso*, Journal Neutrino Vol. 6, No. 1, October 2013.

##### Buku

Bergen, M.J., Bernard, A., Sumarti, S., Sriwana, T., dan Sitorus, K. 2000. *Crater Lakes of Java: Dieng, Kelud and Ijen*, Excursion Guidebook IAVCEI General Assembly, Bali.

##### Artikel bagian dari Buku

Massinai, M.A., Rusman, S., dan Syamsuddin. 2014. *Struktur Geologi Sulawesi Barat Ditinjau dari Kelurusan Geomorfologi Regional*, Proceeding Seminar Nasional Geofisika 2014, Makassar, 13 September 2014.

##### Skripsi/Tesis/Disertasi

Ameldam, P., 2012. *Pengujian Data NCEP-FNL Dan CCMP Untuk Potensi Energi Angin (Studi Kasus Di Jawa Barat)*, Skripsi ITB.

##### Naskah Prosiding

Utama, A.P., Dwinanto, A., Situmorang, J., Hikmi, M., dan Irshamukhti, R. 2012. *Green Field Geothermal System in Java, Indonesia*, Proceedings 1st ITB Geothermal Workshop 2012 at Bandung, Indonesia, 6-8 Maret 2012.

##### Naskah Konferensi

Pontes, M-T, Sempreviva, AM, Barthelmie, R., Giebel, G., Costa, P., 2007. *Integrating Offshore Wind And Wave Resource Assessment*, Proc. 7th European Wave and Tidal Energy Conference, Porto, Portugal.

##### Naskah Laporan Hasil Penelitian

P3TKEBTKE-Kementerian ESDM, 2008. *Laporan Penelitian Kajian PLT Angin di Indonesia Bagian Timur*.

##### Naskah Online

Habby, J., 2011. *Applying Tropospheric Moisture to Forecasting, Meteorology Education*, diakses <http://weatherprediction.com>, 23 Desember 2014.

**PEDOMAN BAGI PENULIS**  
**JURNAL PENGINDERAAN JAUH DAN PENGOLAHAN DATA CITRA DIGITAL**  
*(Journal of Remote Sensing and Digital Image Processing)*

Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital adalah jurnal ilmiah untuk publikasi penelitian dan pengembangan di bidang teknologi dan aplikasi penginderaan jauh.

Penulis diundang untuk mengirimkan naskah atau karya asli hasil penelitian, pengembangan, dan atau pemikiran yang belum dipublikasikan atau dikirimkan ke media publikasi manapun. Penulis boleh mengusulkan penelaah ahli di luar Dewan Penyunting, yang dianggap memahami betul substansi naskah yang dikirim. Naskah yang dikirim akan dievaluasi secara anonim oleh dua atau tiga penelaah ahli dan/atau Dewan Penyunting dari segi keaslian (orisinalitas), kesahihan (validitas) ilmiah, dan kejelasan pemaparan. Penulis berhak menanggapi hasil evaluasi, sedangkan Dewan Penyunting berhak menerima atau menolak serta menyempurnakan naskah tanpa mengurangi isi/maknanya. Naskah yang tidak dimuat, dikembalikan kepada penulis dengan alasan penolakannya. Penulis yang naskahnya dimuat mendapat 3 (tiga) eksemplar dari nomor yang diterbitkan, dan naskah yang ditulis kolektif, hanya diberikan 2 (dua) eksemplar untuk masing-masing penulis. Ketentuan bagi penulis pada jurnal ini adalah sebagai berikut.

**a. Pengiriman naskah**

Naskah diketik dengan MS Word menggunakan Bookman Old Styles font 11 pt, ukuran A4 dengan spasi ganda, maksimal 20 halaman. Khusus untuk judul naskah ditulis huruf besar dengan font 16 pt. Naskah dikirim melalui e-mail ke Sekretariat Redaksi (humas@lapan.go.id; pukasi.lapan@gmail.com) atau file digital diserahkan kepada Sekretariat Redaksi Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital (LAPAN, Jl. Pemuda Persil No. 1 Rawamangun Jakarta Timur).

**b. Sistematika penulisan**

Naskah terdiri dari halaman judul dan isi makalah. Halaman judul berisi judul yang ringkas tanpa singkatan, nama (para) penulis tanpa gelar, alamat instansi, dan e-mail penulis utama. Halaman isi makalah terdiri atas (a) judul dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, (b) abstrak dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris maksimum 200 kata yang tersusun dalam satu alinea, (c) kata kunci dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, (d) batang tubuh naskah, terdiri dari Pendahuluan, Data/Metode/Teori, Hasil Pembahasan, Implementasi (jika ada), Kesimpulan dan Saran, (e) Ucapan terima kasih (bila perlu) yang lazim, serta (f) daftar rujukan.

**c. Gambar dan Tabel**

Gambar atau foto harus dapat direproduksi dengan tajam dan jelas. Gambar atau foto warna hanya diterima dengan pertimbangan khusus. Gambar dan tabel dapat dimasukkan ke dalam batang tubuh atau dalam lampiran tersendiri. Untuk kejelasan penempatan dalam jurnal, gambar dan tabel harus diberi nomor sesuai nomor bab dan nomor urut pada bab tersebut, misalnya Gambar 2-2 atau Tabel 2-1 yang disertai keterangan singkat gambar dan judul dari tabel yang bersangkutan.

**d. Persamaan, Satuan, dan Data Numerik**

Persamaan diketik atau ditulis tangan (untuk simbol khusus) dan diberi nomor di sebelah kanannya sesuai nomor bab dan nomor urutnya, misalnya persamaan (1-2). Satuan yang digunakan adalah satuan internasional atau yang lazim pada cabang ilmunya. Karena terbit dengan dua bahasa, angka desimal data numerik pada tabel dan gambar harus mengacu pada sistem internasional dengan menggunakan titik, sedangkan pada naskah tetap menggunakan ketentuan menurut bahasanya.

**e. Rujukan**

Sesuai dengan ketentuan yang berlaku jumlah rujukan dalam naskah minimal 10 (sepuluh) dengan 80% adalah rujukan terkini. Rujukan di dalam naskah ditulis dengan (nama, tahun) atau nama (tahun), misalnya (Hachert and Hastenrath, 1986). Lebih dari dua penulis ditulis "*et al.*", misalnya Milani *et al.* (1987). Daftar rujukan hanya mencantumkan makalah/buku atau literatur lainnya yang benar-benar dirujuk di dalam naskah. Daftar rujukan disusun secara alfabetis tanpa nomor. Nama penulis ditulis tanpa gelar, disusun mulai dari nama akhir atau nama keluarga diikuti tanda koma dan nama kecil, antara nama-nama penulis digunakan tanda titik koma. Rujukan tanpa nama penulis, diupayakan tidak ditulis 'anonim', tetapi menggunakan nama lembaganya, termasuk rujukan dari internet. Selanjutnya tahun penerbitan diikuti tanda titik. Penulisan rujukan untuk tahun publikasi yang sama (yang berulang dirujuk) ditambahkan dengan huruf a, b, dan seterusnya di belakang tahunnya. Rujukan dari situs web dimungkinkan, dengan menyebutkan tanggal pengambilannya. Secara lengkap contoh penulisan rujukan adalah sebagai berikut.

Escudier, P., 1984. *Use of Solar and Geomagnetic Activity for Orbit Computation*, in Mountenbruck (Ed.). *Solar Terrestrial Predictions: Proceeding of a workshop at Meudon, France, June 12.*

Mumby P.J. and A.J. Edwards, 2002. *Mapping Marine Environments with IKONOS Imagery: Enhanced Spatial Resolution Can Deliver Greater Thematic Accuracy*, *Remote Sens. of Environment*, Vol. 82, No.2-3, pp.248-257.

Milani, A; Nobili, A.M.; and P. Farinella, 1987. *Non-gravitational Perturbations and Satellite Geodesy*, Adam Higler Bristol Publishing, Ltd.

UCAR, 1999. *Orbital Decay Prediction*, <http://windows.ucar.edu>, download September 2004.