

Informasi Perubahan Tutupan Hutan Indonesia untuk Mendukung Inventarisasi Nasional Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca

Diseminasi Berbasis Aplikasi Web Sistem Informasi Geografis

Indonesia's Forest Cover Changes Information to Support National Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Removals

Dissemination Based on Geographic Information Systems Web Applications

SARNO dan SOKO BUDOYO

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh – Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional
Jl. Kalisari No.08, Pekayon-Pasar Rebo, Jakarta 13710
onitsar@gmail.com

ABSTRACT

National Institute of Aeronautics and Space fully supports the Indonesian government's commitment to reducing emissions of greenhouse gases (GHG) from 26 to 41 percent by 2020 and contribute through standard methods - forest cover changes in the Indonesian National Carbon Accounting System (INCAS). This standard method describes the process used by INCAS remote sensing - the Land Cover Change Analysis (LCCA) program, to produce maps of the annual forest extent and changes from Landsat imagery time series for the 13-year period from 2000 to 2012, and to provide inputs for carbon accounting. The INCAS provides a systematic and nationally consistent approach to measuring GHG emissions and removals for Indonesia's land sector, especially forestry sector in Indonesia. This research is an extension of the traditional way of dissemination implementation using spatial information and communication technology. In an effort to facilitate the dissemination of information to the wider community, developed a dissemination system based on "Geographic Information System Web Application". The resulting information is easily accessible via electronic information networks and interacts through the web browser. Users can easily apply dynamic spatial visualization presentations, perform web mapping operations functions and spatial analysis of forest cover change information in Indonesia to support the national inventory of GHG emissions and removals.

Keyword: *emissions of greenhouse, forest cover changes, dissemination, web applications*

ABSTRAK

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional mendukung penuh komitmen pemerintah Indonesia untuk melakukan penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) 26 hingga 41 persen pada tahun 2020 dan berkontribusi melalui metode standar – perubahan tutupan hutan dalam *Indonesian National Carbon Accounting System* (INCAS). Metode standar ini menjelaskan proses yang digunakan program penginderaan jauh INCAS - Analisis Perubahan Tutupan Lahan (LCCA), dalam memantau perubahan tutupan hutan di Indonesia untuk menghasilkan peta tahunan luas dan perubahan hutan nasional dari citra Landsat dalam rentang waktu periode 13 tahun dari 2000 hingga 2012 dan menjadi input untuk penghitungan karbon. INCAS menyediakan sebuah pendekatan yang sistematis dan konsisten secara nasional untuk mengukur emisi dan serapan GRK sektor berbasis lahan, utamanya sektor kehutanan di Indonesia. Penelitian ini merupakan perluasan cara tradisional pelaksanaan diseminasi dengan menggunakan teknologi informasi dan komunikasi spasial. Dalam upaya memudahkan pelaksanaan penyebarluasan informasi kepada masyarakat luas dengan baik, dikembangkan sistem diseminasi berbasis "Aplikasi Web Sistem Informasi Geografis". Informasi yang dihasilkan mudah diakses melalui jaringan informasi elektronik dan berinteraksi melalui peramban web. Pengguna secara mudah dapat menerapkan penyajian visualisasi spasial dinamis, menjalankan fungsi-fungsi operasi pemetaan web dan analisis spasial informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK.

Kata kunci: emisi gas rumah kaca, perubahan tutupan hutan, diseminasi, aplikasi web

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk melakukan penurunan emisi gas rumah kaca 26 hingga 41 persen dari kondisi tanpa adanya intervensi aksi mitigasi (*business as usual*) pada tahun 2020. Mengingat proporsi yang signifikan dari total emisi dihasilkan dari aktivitas berbasis lahan, maka sektor ini menjadi fokus utama dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca (GRK)^(1,2).

Hal inilah yang menjadi dasar mengapa Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah mengembangkan *Indonesian National Carbon Accounting System* (INCAS), untuk mendukung persyaratan MRV (*Measurement* (Pengukuran), *Reporting* (Pelaporan), *Verification* (Verifikasi)) emisi GRK dari sektor berbasis lahan, yang pada tahap ini utamanya sektor kehutanan di Indonesia, termasuk di dalamnya kegiatan REDD+. Sistem ini menyediakan sebuah pendekatan yang sistematis dan konsisten secara nasional untuk mengukur emisi dan serapan GRK sektor berbasis lahan di Indonesia, baik menurut wilayah geografis maupun waktu⁽³⁾.

Banyak lembaga nasional dan akademik lain yang terlibat dalam pengembangan INCAS. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) berkomitmen dan berkontribusi yang berharga melalui metode standar – perubahan tutupan hutan. Metode standar ini menjelaskan proses yang digunakan program penginderaan jauh INCAS, dikenal sebagai program Analisis Perubahan Tutupan Lahan (LCCA), dalam memantau perubahan tutupan hutan di Indonesia. LCCA didisain untuk menyediakan pemantauan detail antar citra, dan pemantauan secara spasial perubahan tutupan hutan Indonesia sepanjang waktu. Tujuan LCCA adalah menghasilkan peta tahunan luas dan perubahan hutan nasional dari citra Landsat dalam rentang waktu. Tujuan awal LCCA adalah menghasilkan peta luas dan perubahan hutan tahunan dalam periode 13 tahun dari 2000 hingga 2012, dan menjadi *input* untuk penghitungan karbon⁽⁴⁾.

Program Pemanfaatan Penginderaan Jauh INCAS telah menghasilkan sistem yang akuntabel dan berkelanjutan guna menghitung emisi GRK dari sektor kehutanan di Indonesia. Hutan memiliki peran dalam hal penyimpanan karbon dan nilai-nilai lainnya. Rangkaian kegiatan dilaksanakan dengan fokus pada perubahan tutupan hutan⁽⁵⁾. Program tersebut telah menghasilkan informasi perubahan tutupan hutan di Indonesia periode 2000 – 2012 untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK.

Dengan dikembangkannya INCAS sebagai sistem MRV emisi GRK untuk sektor berbasis lahan di Indonesia diharapkan akan meningkatkan kepercayaan investor dalam kegiatan REDD+ di Indonesia dan akan membantu mengubah cara pandang kita dalam mengelola sektor berbasis lahan secara berkelanjutan, baik dari aspek, ekonomi, sosial maupun lingkungan⁽³⁾.

Manfaat hasil penelitian bagi dunia keilmuan adalah memudahkan pelaksanaan diseminasi informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan gas rumah kaca kepada masyarakat luas berbasis Aplikasi Web SIG. Pengguna secara mudah dapat mengakses Informasi tersebut secara *on line* melalui peramban web dalam situs web resmi <http://pusfatja.lapan.go.id>.

1.2. INCAS

Masyarakat dunia tengah berupaya mencapai kesepakatan baru mengatasi dampak perubahan iklim. Pada konferensi para pihak ke-21 (COP21) Konvensi Kerangka Kerja Perubahan Iklim PBB (UNFCCC) di Paris, Desember 2015, para pihak mencoba menyelesaikan kesepakatan baru perubahan iklim pasca-2020. Agar dapat efektif, kesepakatan ini harus mencakup komitmen penurunan emisi dari tiap negara dan persyaratan yang jelas dalam MRV emisi GRK, untuk menjamin terpenuhinya komitmen tersebut.

Untuk memenuhi persyaratan pelaporan emisi, Pemerintah Indonesia mengembangkan INCAS sebagai sistem perhitungan GRK level Tier 3 yang menyediakan pendekatan sistematis dan konsisten secara nasional dalam memantau emisi dan serapan GRK sektor berbasis lahan. INCAS menghasilkan informasi secara rinci emisi dan serapan GRK historis, tahun berjalan dan proyeksi ke depan. Dengan tingkat kerincian ini memungkinkan untuk lebih memahami, mengelola dan pada akhirnya mampu menurunkan emisi GRK secara lebih terarah dan efektif. Pada acara seminar publik di Jakarta, 27 Maret 2015, Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan mendukung INCAS menjadi sistem perhitungan GRK Indonesia untuk sektor berbasis lahan, termasuk aktivitas REDD+⁽¹⁾.

1.3. Aplikasi Web Sistem Informasi Geografi

Kemajuan teknologi penginderaan jauh dan teknologi informasi dan komunikasi spasial (TIK-Spasial) berkembang sangat pesat. Teknologi penginderaan jauh telah membuat perekaman data spasial digital relatif lebih mudah, cepat dan akurat. Potensi pemanfaatan TIK-Spasial secara luas, membuka peluang bagi pengaksesan,

pengelolaan, dan pendayagunaan informasi spasial pemanfaatan penginderaan jauh dalam volume yang besar.

Teknologi penginderaan jauh dan TIK-Spasial menumbuhkan kesadaran akan pentingnya pemecahan suatu masalah dengan memanfaatkan data dan informasi spasial pemanfaatan penginderaan jauh. Teknologi yang dipilih untuk pengembangan adalah aplikasi web sistem informasi geografi atau sistem pemetaan web (*web mapping*). Teknologi tersebut berbasis pada TIK-Spasial, difokuskan pada paket perangkat lunak sumber terbuka yang dirilis di bawah lisensi seperti GPL (*General Public Licence*), diadopsi oleh komunitas yang aktif, mendukung format standar, stabil dan handal.

Aplikasi Web SIG atau Sistem Pemetaan web adalah prosedur atau proses merancang, menerapkan, menghasilkan dan mengirimkan peta dalam bentuk digital melalui media *world wide web* (*www*), atau dapat juga diartikan, pemetaan web adalah istilah umum untuk melihat dan mengambil informasi spasial (peta digital) melalui media web atau internet. Komponen utama sistem pemetaan web adalah *web map server* dan *web map client* ⁽⁶⁾.

Pemetaan web telah merevolusi cara mendistribusikan dan berinteraksi dengan informasi spasial. Sejumlah perangkat lunak SIG digantikan hanya oleh satu pusat server pemetaan web yang dapat diakses oleh semua orang yang terhubung dengan akses ke internet melalui peramban web. Peta dapat diakses melalui perangkat yang terhubung ke internet dan membuat permintaan ke server untuk sebuah peta digital secara *online*.

Informasi perubahan tutupan hutan di Indonesia yang tercermin pada peta digital berupa *map layers*, disimpan di dalam suatu server yang terhubung ke jaringan internet. Melalui tombol pilihan atau navigasi pada peramban web memungkinkan untuk menjalankan beberapa operasi pada informasi digital perubahan tutupan hutan, seperti *zoom-in* dan *zoom-out*, atau memperoleh informasi mengenai informasi tertentu pada informasi digital. Dengan personal komputer dan perangkat lunak minimal, pengguna dapat secara dinamis berinteraksi dengan menampilkan peta dan menemukan hubungan data dalam peta yang sebelumnya diperlukan keahlian dan perangkat lunak mahal.

1.5. Tujuan

Ketersediaan produk informasi spasial perubahan tutupan hutan yang benar, tepat dan akurat serta tersosialisasi dengan baik dapat meningkatkan pemanfaatan penginderaan jauh untuk mendukung pengelolaan sumber daya kehutanan dan membangun sistem pemantauan

yang akuntabel dan berkelanjutan guna menghitung emisi karbon⁽⁵⁾ dari sektor kehutanan sekaligus ikut serta dalam pengelolaan, menjaga keselamatan serta kelestarian sumber daya alam dan lingkungan Indonesia yang berkelanjutan.

Citra tegak perubahan tutupan hutan hasil okektorektifikasi merupakan peta citra yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan termasuk pengelolaan lingkungan⁽⁷⁾.

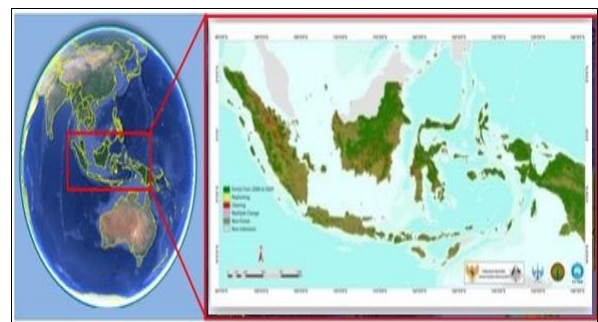
Dalam upaya memudahkan pelaksanaan penyebarluasan informasi kepada masyarakat luas dengan baik, penelitian ini memperluas cara tradisional pelaksanaan diseminasi informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK menggunakan teknologi informasi dan komunikasi spasial.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah membangun dan mewujudkan sistem diseminasi berbasis "Aplikasi Web Sistem Informasi Geografis" dengan sasaran agar informasi mudah diakses melalui jaringan informasi elektronik dan berinteraksi melalui peramban web. Pengguna diharapkan dapat secara mudah menerapkan penyajian visualisasi spasial dinamis, menjalankan fungsi-fungsi operasi pemetaan web dan analisis spasial informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Cakupan Wilayah

Cakupan wilayah Aplikasi Web SIG informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK meliputi seluruh wilayah Indonesia, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Cakupan wilayah Aplikasi Web SIG [Google Earth; LAPAN, 2014].

2.2. Data Perubahan Tutupan Hutan

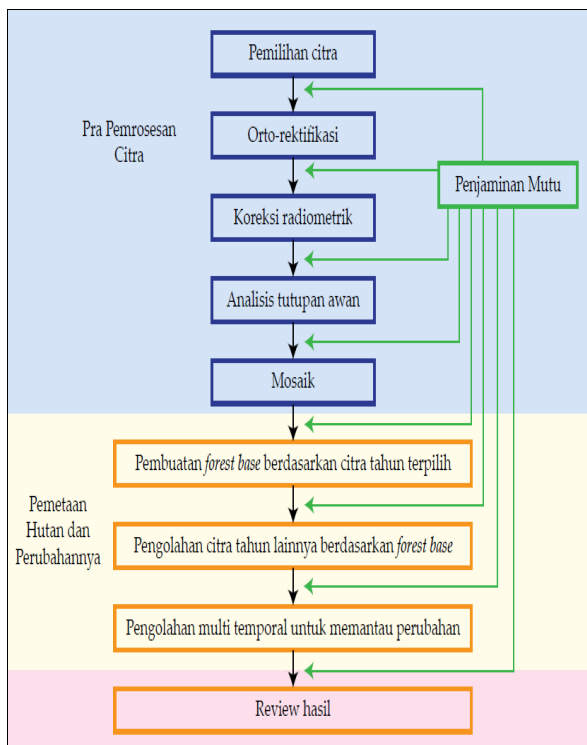
Penelitian ini menggunakan informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK hasil analisis data citra

penginderaan jauh untuk tutupan hutan dan non hutan, penyusutan dan penambahan hutan yang telah dilakukan tiap tahun. Pengintegrasian dan penyajian spasial dinamis pada sistem ini mencakup antara lain: Tutupan hutan dan non hutan, Penyusutan hutan, dan Penambahan hutan, periode tahun 2000 - 2012.

2.3. Metode Perubahan Tutupan Hutan

Metode standar – perubahan tutupan hutan: metode standar yang digunakan untuk memantau perubahan tutupan hutan di Indonesia⁽⁴⁾, dipaparkan dalam Gambar 2.

Seluruh citra satelit diortorektifikasi menjadi rujukan spasial umum (USGS GLS 2000) yang tersedia dari USGS atau diproses secara lokal pada citra dari sumber Thailand dan Australia serta dikalibrasi melalui prosedur koreksi radiometrik. Koreksi pencahayaan daratan kemudian diterapkan menggunakan *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) DEM* dan metode koreksi-C. Pengolahan tutupan awan dilakukan menggunakan pendekatan semi-otomatis yang telah dikembangkan dalam program ini, kemudian diterapkan untuk menghilangkan awan dan kabut sebelum menggabungkan tiap citra dari tiap tahun ke dalam mosaik regional. Biasanya, bahkan dengan menggunakan berbagai citra, tiap mosaik memiliki data area hilang akibat awan tebal.



Gambar 2. Diagram alur pemrosesan INCAS LCCA⁽⁵⁾.

Pemetaan luas hutan untuk tiap wilayah dilakukan dengan mengklasifikasikan 'tahun

dasar' mosaik Landsat terpilih. Untuk pelatihan dan validasi, para pakar dengan pengetahuan terhadap tutupan lahan dan tipe hutan memainkan peran aktif dalam melakukan klasifikasi dasar. Sampel citra satelit resolusi-tinggi digunakan dalam stratifikasi dan analisis serta dalam optimasi dasar pengklasifikasian menurut indeks dan ambang batas optimal lokal. Hasilnya adalah peta dasar probabilitas hutan/non-hutan untuk tahun dasar terpilih. Pencocokan otomatis dilakukan untuk seluruh tahun hingga menghasilkan probabilitas hutan tahunan dalam rentang waktu.

2.4. Metode Aplikasi Web SIG

Pengembangan Aplikasi ini dilakukan dengan *Prototyping Development Methodology With Open Source Software*⁽⁶⁾. Implementasi dititikberatkan pada keterpaduan dan kepraktisan bagi kebutuhan pengguna berupa multi aplikasi GeoFOSS (*Geospasial Free and Open Source Software*) melalui proses pembenahan berbagai komponen pembentuk agar diperoleh sistem yang sederhana dan mudah dipahami. Metode tersebut biasa dikenal dengan istilah re-engineering, yaitu proses analisis teknologi untuk mengidentifikasi komponen-komponen dan hubungannya serta mengembangkan sistem dalam bentuk baru.

Tahapan dalam '*Prototyping Development Methodology with Open Source Software*' yang dilakukan adalah sebagai berikut: 1) Mendefinisikan sistem - Pengembangan Aplikasi Web SIG dan pengaturan pengintegrasian dan penyajian visualisasi spasial dinamis informasi perubahan tutupan hutan Indonesia; 2) Menentukan komponen perangkat lunak - Kegiatan ini hanya mempertimbangkan GeoFOSS; 3) Membangun prototipe - Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengembangkan prototipe yang telah didefinisikan dengan melakukan *installed, configured* dan *customize*; 4) Menentukan dan mempopulasi informasi - Set informasi yang digunakan berupa informasi perubahan tutupan hutan Indonesia serta pengintegrasian ke dalam Aplikasi Web SIG; 5) Uji dan evaluasi - Kegiatan ini dilakukan untuk memastikan semua fungsionalitas sistem tersedia dan berjalan dengan benar; dan 6) Operasi dan dukungan sistem – Aplikasi Web SIG akan memasuki tahap operasi dan dukungan. Selama beroperasi Aplikasi Web SIG perlu dukungan berupa pemeliharaan atau peningkatan fungsionalitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam upaya memudahkan pelaksanaan penyebaran informasi kepada masyarakat luas dengan baik, telah dikembangkan sistem

diseminasi berbasis Aplikasi Web SIG. Konsep dasar Web SIG atau *Spatial Online System* adalah agar informasi dan pengetahuan bermanfaat. Agar memungkinkan pengguna melakukan akses secara cepat dimanapun berada, ketersediaan dan kehandalan jaringan informasi elektronik berupa Internet sangat penting⁽⁹⁾. Dalam penelitian ini, informasi dan pengetahuan dimaksud terkait dengan sumber daya kehutanan dan sistem pemantauan yang akuntabel dan berkelanjutan guna menghitung emisi karbon dari sektor kehutanan.

Informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK telah diintegrasikan ke dalam Aplikasi Web SIG. Informasi tersebut mudah diakses oleh pengguna melalui jaringan informasi elektronik dan berinteraksi melalui peramban web.

Kontribusi dan kehandalan hasil penelitian ini, "Pelaksanaan Diseminasi Informasi Berbasis Aplikasi Web GIS" adalah pengguna secara mudah dapat menerapkan penyajian visualisasi spasial dinamis, menjalankan fungsi-fungsi operasi pemetaan web dan analisis spasial informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK, dibandingkan "Pelaksanaan Diseminasi Cara Tradisional" yang selama ini berlangsung.

Berikut ini hasil identifikasi kelas dan warna, pengintegrasian dan demonstrasi penyajian visualisasi spasial dinamis informasi perubahan tutupan hutan di Indonesia berbasis pada sistem pemetaan web, ditunjukkan melalui operasi fungsi-fungsi operasi pemetaan web dan hasil.

3.1. Perangkat Lunak Aplikasi Web SIG

Pengembangan Aplikasi Web SIG telah mempertimbangkan sejumlah pilihan adopsi perangkat lunak GeoFOSS. Implementasi Layer Basis Data – *Spatial DBMS* menggunakan pilihan perangkat lunak *PostgreSQL/PostGis*^(10,11) atau tata kelola berkas raster citra dalam format GeoTiff, Layer Server Antarmuka – *Web Map Server* menggunakan pilihan perangkat lunak *University Minnesota (UMN) MapServer*^(12,13) dan Layer Aplikasi – *Web Map Client* menggunakan pilihan perangkat lunak *pMapper*⁽¹⁴⁾ dan perangkat lunak *Geomoose*⁽¹⁵⁾ sebagai *Web SIG*.

WebGIS Portal – GeoMoose merupakan kerangka pemetaan berbasis penjelajah web untuk menampilkan data kartografi terdistribusi. Hal ini sangat berguna untuk mengelola data spasial dan non-spasial dalam kabupaten, kota dan kantor kotamadya (dari mana *GeoMoose* berasal). Antarmuka pengguna *GeoMoose* mudah dikonfigurasi dan layanan dapat ditambahkan melalui arsitektur yang modular.

3.2. Kelas dan Warna

Daftar Kelas (Tutupan Hutan dan Non Hutan, Penyusutan Hutan dan Penambahan Hutan) dan Warna (*Red, Green, Blue*), ditunjukkan dalam Tabel 1. Tiap tahun ada tiga file untuk menyimpan produk informasi tutupan hutan (Kelas Tutupan Hutan dan Non Hutan) dan perubahannya (Kelas Penyusutan Hutan dan Penambahan Hutan).

Tabel 1. Daftar Nama Kelas dan Nilai Warna Perubahan tutupan hutan Tahun 2000 – 2003

Kelas	Value	Nilai Warna				Nama File
		R	G	B	Warna	
No Value	99					
Tahun 2000-2001						
Tutupan Hutan	1	38	115	1		tutupan_hutan_2001.tif
Non Hutan		140	137	66		
Penambahan Hutan	1	38	176	44		penambahan_hutan_2000-2001.tif
Penyusutan Hutan	1	255	126	144		penyusutan_hutan_2000-2001.tif
Tahun 2001-2002						
Tutupan Hutan	1	38	115	1		tutupan_hutan_2002.tif
Non Hutan		140	137	66		
Penambahan Hutan	1	168	214	176		penambahan_hutan_2001-2002.tif
Penyusutan Hutan	1	238	88	99		penyusutan_hutan_2001-2002.tif
Tahun 2002-2003						
Tutupan Hutan	1	38	115	1		tutupan_hutan_2003.tif
Non Hutan		140	137	66		
Penambahan Hutan	1	41	209	51		penambahan_hutan_2002-2003.tif
Tahun 2002-2003						
Tutupan Hutan	1	38	115	1		tutupan_hutan_2003.tif

Non Hutan		140	137	66	
Penambahan Hutan	1	41	209	51	penambahan_hutan_2002-2003.tif

3.4. Perubahan Tutupan Hutan dan Web SIG

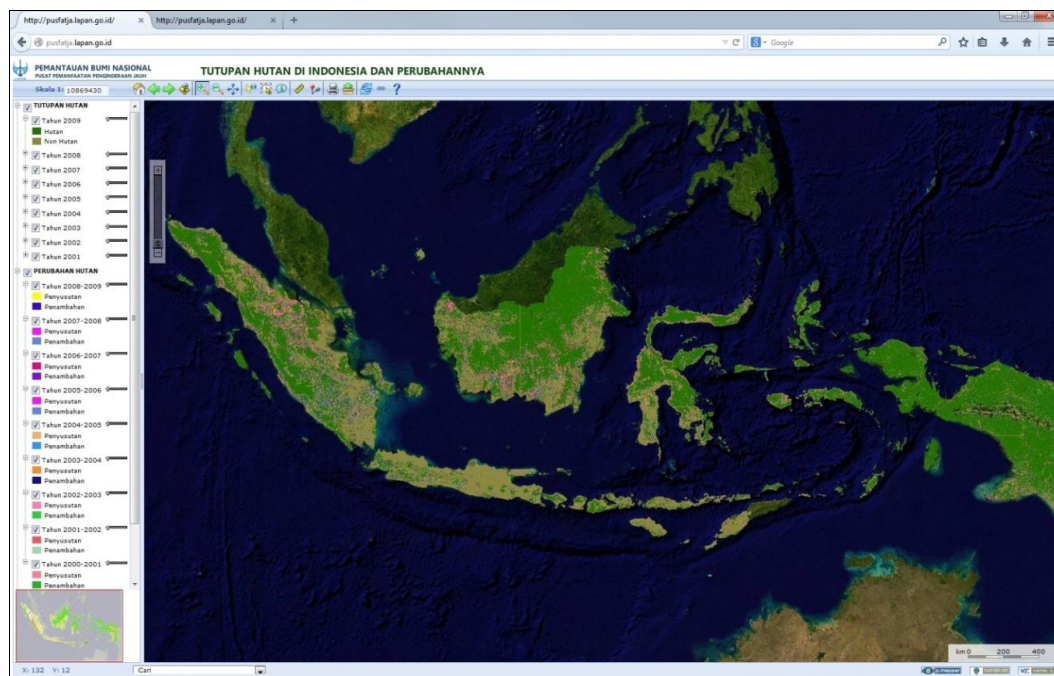
Aplikasi Web SIG mampu memberikan kemudahan akses secara *online* dan menyediakan fungsi-fungsi sistem pemetaan web informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK dengan akses ke internet melalui peramban web.

Informasi Perubahan Tutupan Hutan

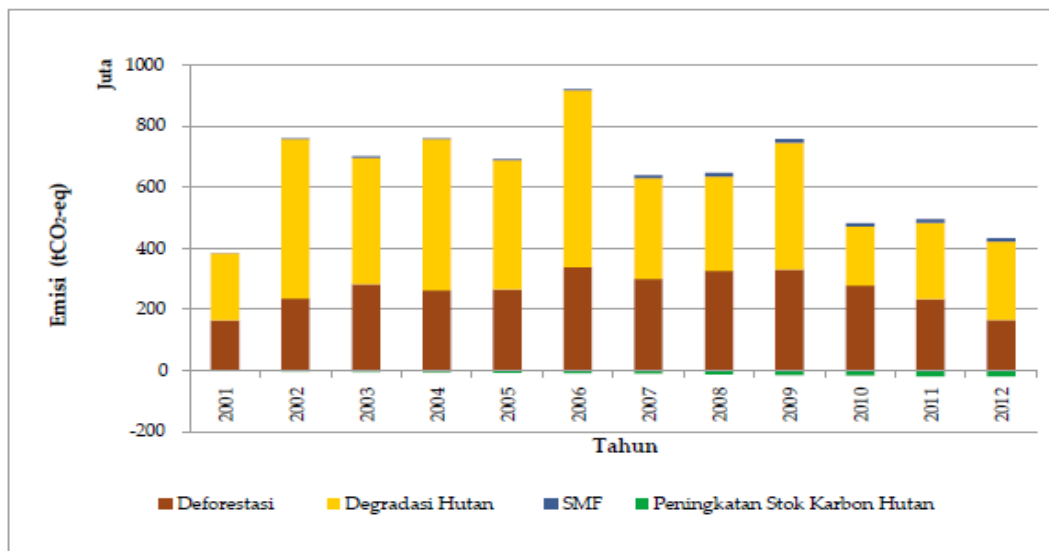
Halaman utama Aplikasi Web SIG merupakan antarmuka pengguna, terdiri atas lima bagian, yaitu: *Header Frame*, *Toolbar* untuk melaksanakan operasi fungsi-fungsi

penyajian dan visualisasi spasial dinamis, *Window Data Frame*, *Window Table of Contents* atau Layer Manajer, dan *Windows Map Reference*.

Halaman utama dengan semua *Group layers* dalam keadaan aktif, ditunjukkan seperti pada Gambar 3. Dalam Gambar tersebut nampak Informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan gas rumah kaca periode tahun 2000 – 2012. Pengguna dapat mengakses Informasi tersebut secara *online* melalui peramban web dalam situs web resmi <http://pusfatja.lapan.go.id>.



Gambar 3. Informasi perubahan tutupan hutan indonesia dalam Web SIG



Gambar 4. Estimasi emisi bersih GRK tahunan selama periode 2001 - 2012 dari aktivitas REDD+⁽⁴⁾.

Emisi GRK Komponen Hutan

Analisis kondisi nasional atau trend estimasi emisi dan serapan GRK aktivitas REDD+ di Indonesia dipaparkan secara rinci dalam Inventarisasi Nasional Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca di Hutan dan Lahan Gambut Indonesia⁽¹⁾. Berikut ini adalah hasil analisis emisi GRK komponen hutan.

Gambar 4 menunjukkan estimasi emisi dan serapan GRK tahunan untuk tiap aktivitas REDD+ di Indonesia selama periode 2001 - 2012. Hasil dalam Gambar tersebut menunjukkan bahwa degradasi hutan tampaknya menjadi sumber emisi GRK yang signifikan dari aktivitas REDD+ selain deforestasi, dengan emisi rata-rata tahunan masing-masing sebesar 367 Mt CO₂-e tahun⁻¹ dan 265 Mt CO₂-e tahun⁻¹. Emisi GRK tertinggi dari degradasi hutan tertinggi terjadi pada tahun 2006 dengan total emisi GRK dilepaskan ke atmosfer sebesar 580 Mt CO₂-e. Terdapat fluktuasi substansial antara emisi GRK dari aktivitas REDD+ lain, sebagian mencerminkan definisi yang digunakan untuk tiap aktivitas.

Emisi bersih GRK dari lahan terdeforestasi mencapai titik tertinggi sebesar 330 Mt CO₂-e pada tahun 2009 dan terendah sebesar 164 Mt CO₂-e pada tahun 2001. Emisi bersih GRK dari lahan dengan pengelolaan hutan berkelanjutan (SMF) berkisar mulai dari 1,4 Mt CO₂-e pada tahun 2001 hingga 11,6 Mt CO₂-e pada tahun 2009. Peningkatan stok karbon hutan mampu menyerap total emisi GRK sebesar 126 Mt CO₂-e selama periode 2001 - 2012.

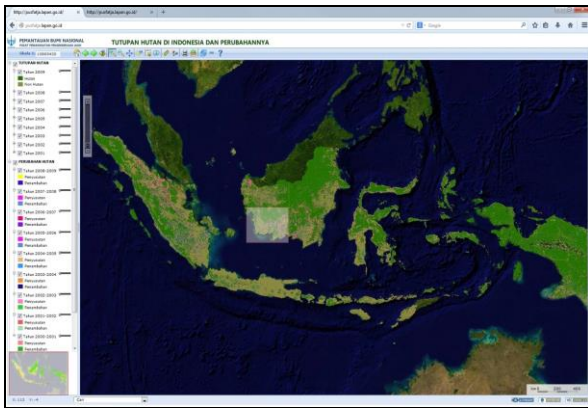
Pemetaan Web dan Visualisasi Dinamis

Penyajian visualisasi spasial dinamis informasi perubahan tutupan hutan menggunakan antarmuka pengguna, berupa tombol pilihan atau navigasi. Antarmuka tersebut memungkinkan pengguna dapat secara mudah berinteraksi menjalankan operasi fungsi-fungsi sistem pemetaan web.

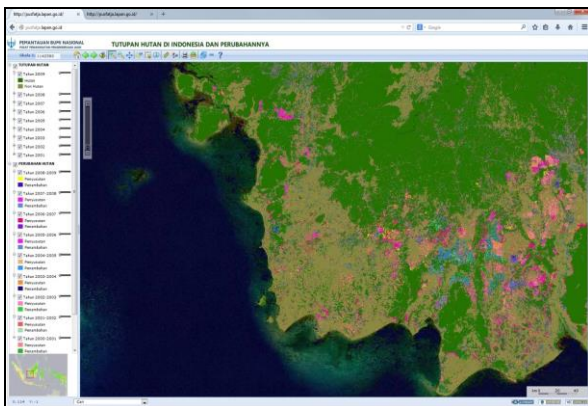
Tombol (*Home*), membuka seluruh cakupan; Tombol (*Back*), tampilan kembali satu langkah sebelumnya; Tombol (*Forward*), tampilan menuju satu langkah setelahnya; Tombol (*Zoom In*), memperbesar suatu lokasi; Tombol (*Zoom Out*), memperkecil suatu lokasi; dan Tombol (*Pan*), menggeser tampilan ke arah yang diinginkan.

Informasi perubahan tutupan hutan tercermin pada peta tematik digital berupa *layers*. *Layer Manajer* digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan. Pengaturan transparansi layer melalui *Transparency Control Slider* dengan menggeser ke arah kiri atau kanan. Untuk memperbesar atau memperkecil tampilan informasi digunakan tombol *Zoom-in* atau *Zoom-out* atau dapat menggunakan "*Zoom Control Slider*" yang terletak di bagian kiri tengah halaman utama, dengan menggeser *Control Slider* ke atas atau ke bawah.

Proses dan hasil operasi memperbesar tampilan menggunakan tombol *Zoom In*, ditunjukkan dalam Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Proses *zoom-in* bagian informasi perubahan tutupan hutan



Gambar 6. Hasil *zoom-in* informasi perubahan tutupan hutan

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah memperkenalkan perluasan cara tradisional pelaksanaan diseminasi informasi menggunakan teknologi informasi dan komunikasi spasial, khususnya Aplikasi Web SIG untuk penyebarluasan informasi kepada masyarakat luas.

Informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK dalam Aplikasi Web SIG mudah diakses oleh pengguna melalui jaringan informasi elektronik dan berinteraksi melalui peramban web.

Pengguna secara mudah dapat menerapkan penyajian visualisasi spasial dinamis, menjalankan fungsi-fungsi operasi pemetaan web dan analisis spasial informasi perubahan tutupan hutan Indonesia untuk mendukung inventarisasi nasional emisi dan serapan GRK.

PERSANTUNAN

Terima kasih sebesar-besarnya disampaikan kepada Pimpinan LAPAN - Pusfatja dan para kolega lainnya atas dukungan, kerja sama dan kebersamaan dalam pelaksanaan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Krisnawati, H., Imanuddin, R., Adinugroho, W.C. dan Hutabarat, S., (2015). *Inventarisasi Nasional Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca di Hutan dan Lahan Gambut Indonesia*, Badan Penelitian Pengembangan dan Inovasi, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Bogor, Indonesia .
2. Kardono, (2014). Identifying Low Carbon Technology For Sustainable Energy Development In Indonesia , *Jurnal Teknologi Lingkungan* (ISSN 1411-318X), Vol. 15, No. 1, P3TL-BPPT: 43-50.
3. Krisnawati, H., Imanuddin, R., Adinugroho, W.C. dan Hutabarat, S., (2015). *Metode Standar untuk Pendugaan Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Kehutanan di Indonesia , Versi 1*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor, Indonesia .
4. Krisnawati, H., Imanuddin, R., Adinugroho, W.C. dan Hutabarat, S., (2015). *Metode Standar untuk Pendugaan Emisi Gas Rumah Kaca dari Hutan dan Lahan Gambut di Indonesia , Versi 2*. Badan Penelitian Pengembangan dan Inovasi, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Bogor, Indonesia .
5. LAPAN. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, (2014), *Program Penginderaan Jauh INCAS: Metodologi dan Hasil, Versi 1*, LAPAN-IAFCP, Jakarta.
6. Hazzard, E., (2011). *Openlayers 2.10 Beginner's Guide*", UK., Packt Publishing.
7. Asep K., (2014), Citra Tegak Resolusi Tinggi Pengelolaan Lingkungan, *Jurnal Teknologi Lingkungan* (ISSN 1411-318X), Vol. 15, No. 2, P3TL-BPPT: 99-106.
8. Brian, N.H., "Open source software, web services, and internet-based geographic information system development", <http://cartogis.org/docs/proceedings/2005/hilton.pdf>., (Agustus 2013).
9. Muhamad Sadly dan Awaludin, (2017). Sistem Penjejak Ikan untuk Pemantauan Kualitas Lingkungan Perairan dan Prediksi Lokasi Penangkapan Ikan menuju Pengelolaan Perikanan Berkelanjutan, *Jurnal Teknologi Lingkungan* (ISSN 1411-318X), Vol. 18, No. 1, 29-36.
10. Obe, Regina O., et. al., (2011). *PostGIS in Action*, USA., Manning Publishing.
11. PostGIS, (2017). *PostGIS 2.0 Manual*, <http://postgis.net/docs/manual-2.0/>, (Maret, 2016).

12. Kropla B., (2005). *Beginning Mapserver: Open Source Gis Development*, Appres, USA.
13. MapServer, (2014). Documentation, <http://mapserver.org>, (Maret 2014).
14. Mapper, (2014). Documentation, <http://pmapper.net>, (Maret 2014).
15. Geomoose, (2014). Documentation, <http://geomoose.org>, (September 2014).