

Penggunaan Citra Penginderaan Jauh untuk Mendukung Mitigasi Dampak Perubahan Iklim di Sektor Pertanian

The Use of Remote Sensing Image to Support the Impact of Climate Change Mitigation in Agricultural Sector

Kusumo Nugroho dan Wahyunto

Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114. Email: kusumo_n41@yahoo.com

Diterima 9 Desember 2014; Direview 22 Desember 2014; Disetujui dimuat 15 Mei 2014

Abstrak. Penggunaan citra penginderaan jauh dalam menghadapi dampak perubahan iklim saat ini, memerlukan data geospasial dalam identifikasi dampak dan sumber sumber yang berpengaruh terhadap perubahan iklim. Dampak perubahan iklim yang berdampak pada lahan dan lingkungan dapat dikaji dari penginderaan jauh, adalah suhu udara, curah hujan, kenaikan air laut (batimetri) dan proses kebakaran lahan. Dampak perubahan iklim terhadap sumberdaya lahan dapat dikaji dengan penginderaan jauh seperti berkurangnya areal hutan, kebakaran hutan dan lahan, perubahan ekologi dan kondisi hutan dan keanekaragaman hayati. Perubahan lahan, akibat kekeringan banjir atau perubahan luapan. Penginderaan jauh dapat mengkaji kenaikan suhu, dan estimasi emisi gas rumah kaca selain perubahan pola curah hujan, dan kejadian iklim ekstrim. Intrusi air laut yang berkaitan dengan perubahan garis pantai dapat dirunut dari penginderaan jauh. Data spasial dari penginderaan jauh juga menjadi dasar penggunaan tanaman rendah emisi, cara mengelola air untuk mengurangi terjadinya oksidasi bahan organik. Peran penginderaan jauh untuk mitigasi perubahan iklim dapat diperhatikan dalam hal pengamatan sumberdaya lahan dan hidrologi, lahan gambut, biomasa sebagai sumber cadangan karbon, monitoring perubahan penggunaan lahan, indikator penting terjadinya perubahan kondisi hidrologi. Makalah ini membahas peranan teknik penginderaan jauh dalam menyikapi dampak perubahan iklim terhadap sumber daya tanah dan air di Indonesia dengan contoh-contoh aplikasi yang telah dilakukan.

Kata kunci: Penginderaan Jauh / Perubahan Iklim / Adaptasi / Mitigasi / Teknik Analisis

Abstract. The use of remote sensing image in the face of climate change impacts at this time, require the identification of the impact of geospatial data and resources that affect climate change. Impact of climate change on land and environmental impact can be seen from remote sensing, is the air temperature, precipitation, sea level rise (bathymetry) and the process of land fires. The impact of climate change can be observed by remote sensing through the reduction of forest area, forest and land fires, changes in forest conditions and the ecology and biodiversity changes in land, flood or drought due to changes in the flooding behaviour. Remote sensing can assess the increase in temperature, and estimation of greenhouse gas emissions in addition to changes in rainfall patterns, and extreme climate events. Seawater intrusion associated with changes in the shoreline can be traced from remote sensing. Spatial data from remote sensing is also the basis for the use of low-emission plants, how to manage the water to reduce the oxidation of organic matter. The role of remote sensing for the mitigation of climate change can be addressed in terms of land resources and hydrological observations, peat, biomass as a source of carbon stocks, monitoring changes in land use, an important indicator of changes in hydrological conditions. This paper discusses the role of remote sensing techniques in addressing the impacts of climate change on land and water resources in Indonesia with examples of applications that have been done.

Keywords: Remote Sensing / Climate Change / Adaptation / Mitigation / Engineering Analysis

PENDAHULUAN

Strategi dasar dalam menyikapi perubahan iklim melalui kebijakan pembangunan pertanian secara umum adalah menekan dampak negatif perubahan iklim agar empat target utama dapat dicapai. Target utama meliputi swasembada pangan berkelanjutan, diversifikasi pangan, nilai tambah daya saing dan ekspor, serta kesejahteraan petani. Kebijakan

diarahkan untuk meningkatkan peran sektor pertanian dalam mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Upaya mitigasi lebih diarahkan terutama pada subsektor perkebunan dan subsektor pertanian di lahan gambut dalam menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK). Upaya adaptasi diarahkan untuk meningkatkan selang toleransi (*coping range*) sektor pertanian terhadap dampak perubahan iklim.

Pengaruh perubahan iklim terhadap sektor pertanian bersifat multi-dimensional, mulai dari sumber-daya, infrastruktur pertanian, dan sistem produksi pertanian, hingga aspek ketahanan dan kemandirian pangan, serta kesejahteraan petani dan masyarakat pada umumnya. Pengaruh tersebut dibedakan atas dua indikator, yaitu kerentanan dan dampak. Secara harfiah, kerentanan (*vulnerable*) terhadap perubahan iklim adalah “kondisi yang mengurangi kemampuan (manusia, tanaman, dan ternak) beradaptasi dan/atau menjalankan fungsi fisiologis/biologis, perkembangan/fenologi, pertumbuhan dan produksi serta reproduksi secara optimal (wajar) akibat cekaman perubahan iklim”. Dampak perubahan iklim adalah “gangguan atau kondisi kerugian dan keuntungan, baik secara fisik maupun sosial dan ekonomi yang disebabkan oleh cekaman perubahan iklim” (Balitbangtan 2011).

Dalam kaitan dampak perubahan iklim dengan pertanian, terlihat pada kondisi sumberdaya lahannya. sumberdaya lahan tidak terlepas dari informasi geospasial. Perubahan yang terjadi dalam kaitannya dengan geospasial, mendorong digunakannya data dan informasi yang diperoleh dari citra penginderaan jauh. Perubahan iklim dikatakan telah terjadi karena satunya terjadi emisi gas rumah kaca (GRK). Usaha untuk memperhitungkan perubahan cadangan (*stock*) karbon baik dibawah tanah maupun diatas tanah, dilakukan juga dengan menggunakan citra penginderaan jauh. Pengukuran kadar karbon di atas tanah dengan LIDAR, selanjutnya dilakukan pengukuran kondisi hutan di lapangan dan digunakan hubungan alometrik untuk estimasi stock biomasnya. Secara paralel, *Digital Canopy High Model* (DCHM) dan *Digital Terrain Model* (DTM) yang berasal dari pengukuran elevasi diperoleh melalui suatu *Optech Airborne Laser Terrain Mapper* 1210. Pendekatan memiliki kemampuan untuk memantau variabilitas alam kadar karbon di atas tanah di hutan tersebut (Patenaude *et al.* 2009). Perubahan karbon di lahan gambut, merupakan salah satu parameter yang diteliti dengan penggunaan citra penginderaan jauh. Selain dalam adaptasi, yang mengidentifikasi perubahan karbon, serta cara untuk mengurangi dampaknya, tetapi juga citra digunakan untuk memprediksi dan memitigasi kebakaran di gambut. Perubahan karbon, perubahan pola curah hujan, kenaikan suhu, kenaikan muka air, dan kejadian iklim ekstrim, dapat dipelajari dengan data dan informasi citra penginderaan jauh. Dalam kaitannya dengan mitigasi, proses-proses yang dapat diamati

sesuai dengan perubahan waktu (temporal), diamati melalui sarana penginderaan jauh.

Pengarusutamaan (*mainstreaming*) program sektor pertanian terkait dengan dampak perubahan iklim secara sinergis merupakan bagian integral strategi pembangunan pertanian. Mengacu pada visi dan misi pembangunan pertanian dan mempertimbangkan kondisi objektif di lapangan maka penanggulangan dampak perubahan iklim pada sektor pertanian difokuskan pada program antisipasi perubahan iklim dengan meningkatkan kemampuan pemerintah dan masyarakat. Kondisi objektif di lapangan pada cakupan yang luas, dapat dilakukan dengan bantuan data dan analisis penginderaan jauh. Penentuan areal aksi mitigasi pada sub-sektor perkebunan dengan pengembangan teknologi ramah lingkungan dan penurunan emisi GRK juga harus mempertimbangkan ketersediaan data spasial. Program aksi adaptasi pada sub-sektor tanaman pangan dalam upaya melestarikan dan memantapkan ketahanan pangan nasional memerlukan data informasi spasial. Lokasi yang berpotensi, atau yang terdampak perubahan iklim dapat diketahui dengan bantuan penginderaan jauh.

Perubahan pemanfaatan lahan, penggunaan lahan yang didasari potensi sumberdaya lahan, tidak selalu menghasilkan peningkatan atau optimalisasi penggunaannya. Perubahan iklim, sering menjadikan potensi sumberdaya lahan menurun. Di banyak tempat di Indonesia, perubahan mengakibatkan degradasi lingkungan dan penurunan kualitas sumberdaya lahan.

PARAMETER IKLIM YANG BERDAMPAK PADA LAHAN DAN LINGKUNGAN

Perubahan iklim dalam kaitannya dengan aspek spasial dan fakta-fakta dampak akibat perubahan iklim dimasukkan dalam Laporan Kelompok Kerja IPCC, (IPCC 2007, IPCC 2013). Perbedaan perubahan iklim, menurut lokasi (geospasial) dan waktunya disebutkan dalam laporan Kelompok Kerja Pertama IPCC, yang dihubungkan dengan fakta ilmiah terjadinya perubahan iklim secara global yang dikeluarkannya (IPCC 2013).

Suhu Udara

Secara geospasial kenaikan suhu tidak merata. Pada saat ini, kenaikan suhu di Asia Tenggara yang paling tinggi terkonsentrasi di daerah bagian barat laut yaitu di beberapa negara seperti Thailand, Myanmar, Laos, Kamboja, dan Vietnam, yaitu daerah yang masih dalam bagian daratan benua Asia. Secara umum

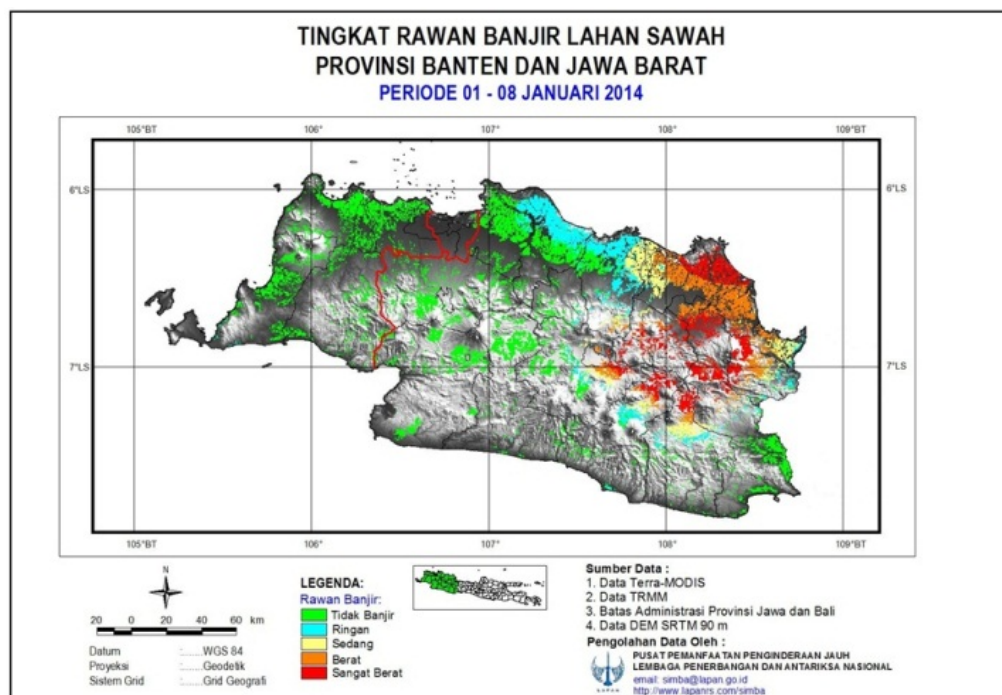
kenaikan suhu global mencapai $0,89^{\circ}\text{C}$ dihitung dari tahun 1901. Secara spesifik kenaikan suhu di Asia Tenggara, tercatat pada kisaran $0,4-1^{\circ}\text{C}$. Perubahan terjadi sesuai waktu, tapi kenaikan suhu tetap terus terjadi. Kenaikan suhu diperkirakan akan menyebar ke seluruh daratan secara merata. Suhu tertinggi di siang hari akan mencapai $3-4^{\circ}\text{C}$ lebih tinggi dari suhu rata-rata saat ini di seluruh daratan di kawasan Asia Tenggara. Ramdani *et al.* (2014) menyatakan bahwa perluasan areal untuk perkebunan kelapa sawit dengan mengorbankan hutan hujan tropis primer dan sekunder berdampak peningkatan suhu permukaan lokal.

Hipotesis ini diteliti dengan menggunakan metode penginderaan jauh melalui analisis data penginderaan jauh diukur perubahan penggunaan lahan dari hutan hujan tropis menjadi perkebunan kelapa sawit. Data penginderaan jauh juga digunakan menghitung suhu permukaan dari data inframerah termal pada band 6 dari Landsat 5 *Thematic Mapper* (TM) dan Landsat 7 *Enhanced Thematic Mapper* dan (ETM+). Hasil dari pengolahan citra satelit menunjukkan hanya $0,2^{\circ}\text{C}$ berbeda dari pengukuran suhu langsung di lapangan. Kurang rimbunnya penutupan kanopi pohon kelapa sawit mengakibatkan suhu permukaan yang lebih tinggi (Ramdani *et al.* 2014).

Curah Hujan

Perbedaan perubahan iklim dapat terlihat dari curah hujan yang terjadi. Curah hujan diperkirakan akan meningkat di beberapa negara termasuk Indonesia dan Papua Nugini. Sedangkan di negara lain seperti Thailand, Laos, Myanmar, Kamboja, dan Vietnam, curah hujan diperkirakan akan menurun sebesar 10%-20% pada bulan Maret-Mei. Secara keseluruhan, curah hujan tahunan diperkirakan akan meningkat, kecuali di bagian barat daya Indonesia. Kelembaban tanah akan meningkat hingga 1 mm di bagian barat daya Papua Nugini dan penurunan sekitar 0,6 mm di bagian barat Papua Nugini, yaitu di negara-negara Laos, Vietnam, Kamboja, Thailand, Malaysia, sebagian Indonesia dan Myanmar.

Berbagai proses yang berkaitan dengan curah hujan dan perubahan iklim global berdampak langsung terhadap daur hidrologi (kekeringan dan kebanjiran). Dampak dan perubahan hidrologi dalam kurun waktu, dapat dimonitor dengan penginderaan jauh seperti data citra Terra MODIS, TRMM, DEM-SRTM 90 m telah dapat digunakan di Jawa Barat dan Banten seperti terlihat pada Gambar 1 (Dirgahayu 2014).



Sumber: Dirgahayu (2014)

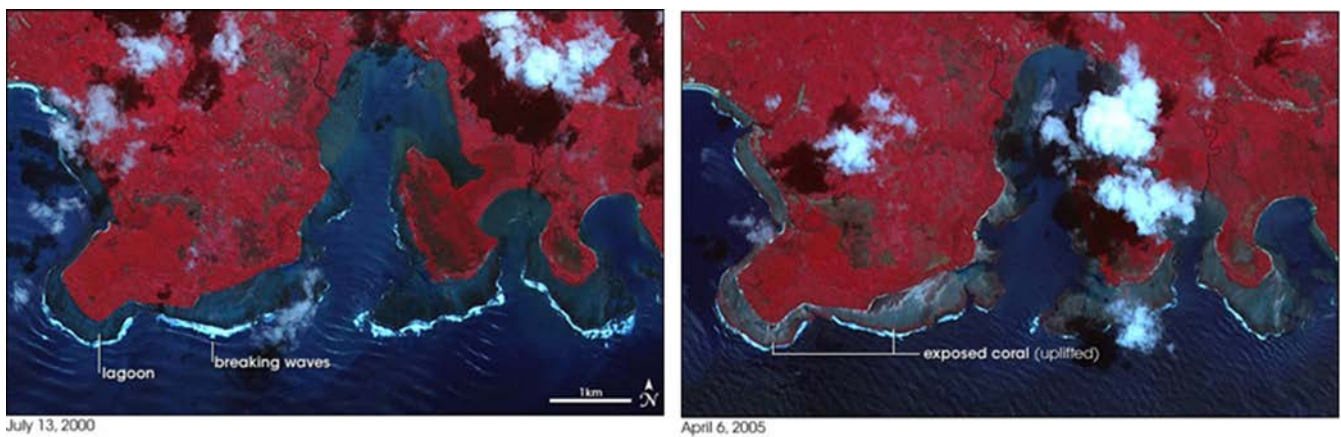
Gambar 1. Penggunaan Terra MODIS, TRMM, DEM SRTM 90 m untuk banjir
Figure 1. The use Terra MODIS, TRMM, DEM, SRTM 90 m for flood study

Kenaikan Air Laut-Batimetri

Perubahan iklim daerah pesisir teramati lebih spesifik dengan perubahan kenaikan muka air laut. (Bank Dunia 2013), menyatakan bahwa kenaikan muka air laut di seluruh Asia Tenggara 10-15% lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata global. Kenaikan muka air laut diprediksi mencapai 50 cm di tahun 2050 dan mencapai 100 cm di tahun 2090. Kota besar yang berada di daerah pesisir, akan terkena dampak yang paling besar. Salah satu contoh yang diberikan Younes (2008) dalam kaitannya dengan tsunami pada tahun 2006. Perubahan batimetri sebagai dampak tsunami merupakan kejadian luar biasa.

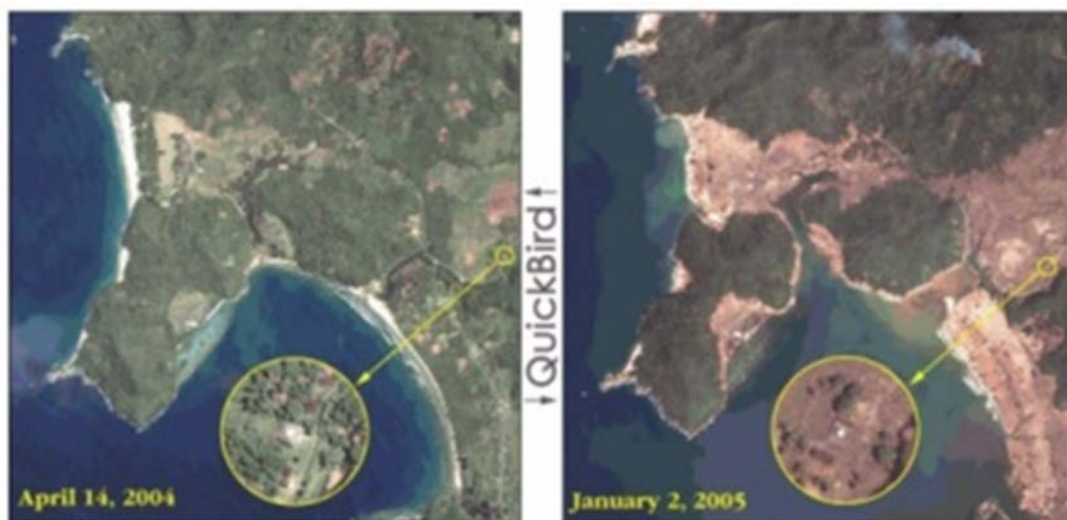
Perubahan iklim yang sangat kentara adalah perubahan batas muka air laut atau batimetri (Arief

2012). Citra SPOT 4 atau citra lain seperti *QuickBird*, atau pun Landsat 7 dapat digunakan untuk melihat perubahan yang terjadi pada batimetri (Younes 2008). Perubahan atau kenaikan air laut, dapat diprediksi dengan menggunakan data-data iklim pada suatu daerah. Penggunaan citra untuk mengukur perubahan batimetri telah dilakukan dengan banyak pendekatan (Ji *et al.* 1992, Setiawan *et al.* 2014), telah menggunakan data Landsat untuk menentukan perubahan batimetri. Data landsat yang mudah dan tersedia, memudahkan untuk dapat digunakan menganalisis perubahan dalam batimetri suatu lokasi, baik pada batas pantai yang rendah (Bierwirth *et al.* 1993) atau daerah lain (Green *et al.* 2000) atau daerah pantai yang lain (Houma 2006, Ji *et al.* 1992)



Sumber: Younes (2008)

Gambar 2. Perubahan batimetri karena tsunami Aceh
Figure 2. Bathymetry changed as an impact of tsunami in Aceh



Sumber: Younes (2008)

Gambar 3. Perubahan batimetri karena tsunami Aceh
Figure 3. Bathymetry changed as an impact of tsunami in Aceh



Sumber: Younes (2008)

Gambar 4. Perubahan batimetri karena tsunami Aceh

Figure 4. Bathymetry changed as an impact of tsunami in Aceh

Proses Kebakaran dan Inderaja

Dengan data satelit, maka pemahaman kita tentang frekuensi, keparahan dan penyebab pembakaran biomassa parah di Indonesia, dan juga sebagian besar variabilitas konsentrasi karbon dioksida atmosfer global telah dikaitkan dengan variabilitas emisi dari terbakarnya biomassa dapat diamati. Dalam kondisi kekeringan, biomassa yang terbakar di Indonesia adalah kontributor sebanding dengan emisi ini, seperti yang terlihat dalam 1997-1998. Keterbatasan data satelit yang berguna untuk memantau kebakaran sebelum pertengahan 1990-an, menyebabkan kurang akurasinya (Field *et al.* 2009).

Hutan yang direpresentasikan oleh warna hijau pada citra pada tahun 2006 (ENVISAT dan MODIS) berubah sebarannya yang direpresentasikan dengan warna coklat merah pada tahun 2007 (diamati oleh Landsat ETM) pada Gambar 5c. Pada Gambar 5b, titik api (titik merah) di tepi bagian hutan bergambut atau warna oranye di Gambar 5a, menandakan potensi kebakaran.

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

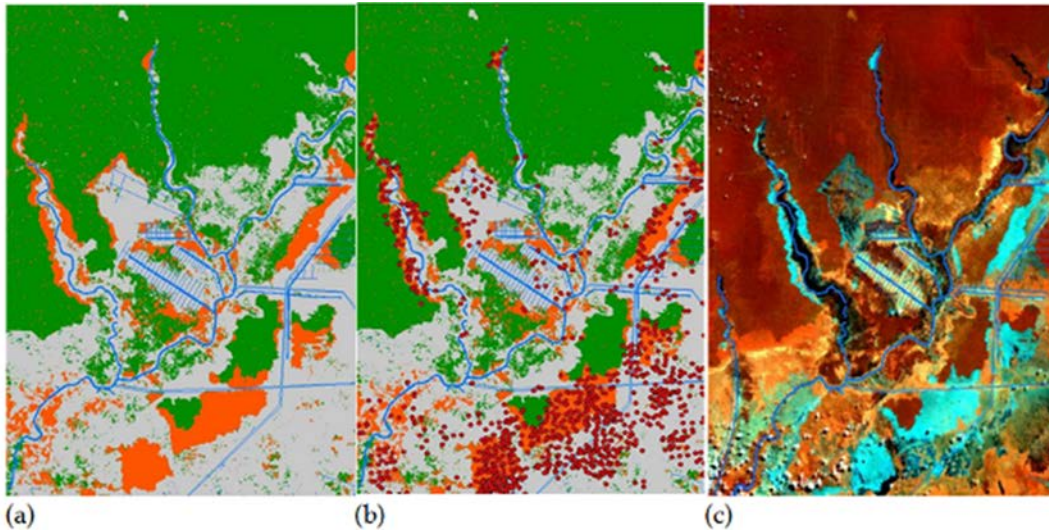
Berkurangnya Luas Areal Hutan

Data penginderaan jauh yang *real time* dapat digunakan untuk menghitung luas hutan primer dan

hilangnya keanekaragaman hayati. Namun, tidak ada konsensus mengenai luas area dan tren temporal pembukaan hutan primer di Indonesia. Dilaporkan kuantifikasi spasial dan temporal eksplisit hilangnya hutan primer Indonesia, yang mencapai lebih dari 6,02 juta hektar dalam periode tahun 2000-2012 dan meningkat rata-rata sebesar 47.600 ha per tahun. Pada 2012, hilangnya hutan primer tahunan di Indonesia diperkirakan lebih tinggi daripada di Brazil (0,84 juta hektar dan 0,46 juta hektar, masing-masing). Semakin menyusutnya hutan primer Indonesia memiliki implikasi signifikan bagi upaya mitigasi perubahan iklim dan konservasi keanekaragaman hayati (Margono *et al.* 2013).

Kebakaran Hutan dan Lahan

Estimasi global awal dari pembakaran biomassa didasarkan pada pengamatan penginderaan jauh dipelajari sejak era tahun 1980-an. Sejak itu, perbaikan yang signifikan dari sensor penginderaan jauh pesawat ruang angkasa telah mengakibatkan peningkatan jumlah produk turunan karakteristik deteksi api yang aktif atau daerah terbakar (pada perusahaan asosiasi, MODIS MCD45A1, L3JRC, Globcarbon, GBS, GLOBSCAR, GBA2000). Bila digabungkan dengan tutupan lahan/vegetasi I memungkinkan untuk estimasi biomassa yang terbakar, sehingga teknologi inderaja, membantu untuk menghasilkan informasi penting



Sumber: Younes (2008)

Gambar 5. Sebangau Tenggara Kalimantan: (a) 2006 ENVISAT ASAR, (b) MODIS 2006, (c) Landsat ETM+ image of 4 July 2007 (RGB: bands 4-5-7 ASAR APP data courtesy ESA). By SarVision & Wageningen University (2007)

Figure 5. Sebangau area, South East Kalimantan, images recorded from ENVISAT 2006 (a), MODIS 2006 (b), and Landsat ETM + image of 4 July 2007 (RGB: bands 4-5-7 ASAR APP data courtesy ESA) (c). By SarVision & Wageningen University (2007)

tentang tata ruang dan variabilitas temporal perkiraan emisi. Ketersediaan produk multi-tahun (>10 tahun) menyebabkan pemahaman yang lebih baik dari ketidakpastian selain meningkatkan akurasi (Mouillot *et al.* 2014).

Ekologi

Berbagai aplikasi ekologi memerlukan data dari luasan spasial yang didapatkan dari data penginderaan jauh dengan validasi lapangan secara terbatas. Kegiatan ini termasuk mengidentifikasi dan merinci karakteristik biofisik habitat spesies, memprediksi distribusi spesies dan variabilitas spasial dalam kekayaan spesies, dan mendeteksi perubahan alam (Kerr and M. Ostrovsky 2003).

Hutan dan Keanekaragaman Hayati

Penginderaan jauh digunakan untuk menilai perubahan cadangan karbon, iklim dan sistem hidrologi, kekayaan keanekaragaman hayati, dan disiplin ilmu keberlanjutan lainnya. Namun tanpa metode pengawasan hutan yang tepat waktu dan akurat, respon kebijakan akan kurang informasi mengenai fakta-fakta paling dasar dari perubahan tutupan hutan. Hasil dari

strategi pemantauan intensif dan efektif memungkinkan perkiraan tepat waktu, tepat, dan konsisten pembukaan hutan dalam daerah tropis yang lembab. Pendekatan pengambilan sampel berdasarkan probabilitas yang sinergis pada dataset satelit resolusi spasial rendah dan tinggi digunakan untuk mengukur pembukaan hutan tropis yang lembab dari tahun 2000 hingga 2005. Penggundulan hutan diperkirakan 1,39% (SE 0,084%) dari total luas biomassa. Ini berarti untuk daerah hutan diperkirakan berkurang 27,2 juta hektar (sekitar 2,28 juta hektar), dan merupakan penurunan 2,36% di daerah hutan tropis yang lembab. Lima puluh lima persen dari total kliring biomassa terjadi dalam hanya 6% dari luas biomassa, menekankan adanya pembukaan hutan "hotspot." Hilangnya hutan di Brazil menyumbang 47,8% dari total kliring biomassa, hampir empat kali lipat dari negara tertinggi berikutnya, Indonesia, yang menyumbang 12,8%. Lebih dari tiga-perlima dari kliring terjadi di Amerika Latin dan lebih dari sepertiga di Asia. Afrika menyumbang 5,4% terhadap estimasi kehilangan tutupan hutan tropis yang lembab, yang mencerminkan tidak adanya kliring skala agroindustri saat ini di Afrika tropis lembab (Hansen *et al.* 2008a).

PERAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

Mitigasi bertujuan untuk mengurangi emisi GRK melalui strategi: 1) penurunan emisi GRK, dan 2) peningkatan penyerapan CO₂, dan sequestrasi karbon. Sesuai dengan Peraturan Presiden RI No. 61 tahun 2011, untuk memenuhi target penurunan emisi GRK Indonesia sebesar 26% atau 41% hingga tahun 2020 maka bidang pertanian memiliki tanggung jawab untuk menurunkan emisi dalam bentuk Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca pada lahan gambut, tanaman pangan dan hortikultura, tanaman perkebunan, dan peternakan. Perpres No. 61 tahun 2011 sektor pertanian telah mengamanatkan target penurunan emisi GRK 0,008 Gt CO₂e dengan upaya sendiri, dan sebesar 0,011 Gt CO₂e dengan bantuan internasional. Akan tetapi, dalam lampiran Perpres tersebut, sektor pertanian menargetkan penurunan emisi yang jauh lebih tinggi, mencapai 0.334 Gt CO₂e. Pencapaian target tersebut, yakni sekitar 0,204 Gt CO₂e, berasal dari pengelolaan lahan gambut (Jaenicke *et al.* 2008).

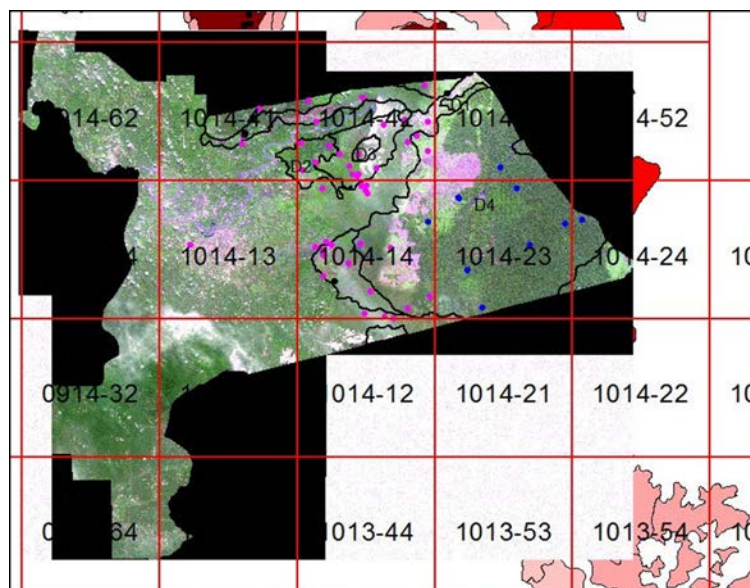
Kementerian Pertanian memerlukan perencanaan dan strategi yang menyeluruh dan terukur terkait dengan pelaksanaan mitigasi perubahan iklim, sehingga target dapat dicapai. Hal yang dapat diukur dengan bantuan informasi geospasial adalah letak dan luasan pelaksanaan kegiatan mitigasi dari target tersebut. (Balitbangtan 2011a). Dengan menandai secara spasial

target penurunan, baik kuantitas (luas areal) maupun kualitas (tingkat emisi pada lokasi tertentu), maka emisi GRK dapat terukur, dilaporkan dan diverifikasi, sehingga mitigasi dan adaptasi untuk penurunan emisi GRK di lahan gambut dapat direncanakan dan dilaksanakan.

Pengelolaan Lahan Gambut

Pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian merupakan hal yang dilematis. Di satu sisi, sebagian lahan gambut masih cukup produktif untuk berbagai komoditas pertanian. Di sisi lain, pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian tanpa dibarengi dengan upaya konservasi sumberdaya lahan dan air, akan memberikan beberapa konsekuensi terhadap lingkungan dan perubahan iklim, terutama peningkatan emisi GRK. Pengurangan emisi GRK di lahan gambut yang dimanfaatkan untuk pertanian dapat ditempuh melalui pemberlakuan atau penerapan berbagai peraturan, Pembukaan Lahan Tanpa Bakar (PLTB), serta pemanfaatan sebagai lahan pertanian dengan penambahan amelioran.

Pemberlakuan Permentan No. 14/2009, yang berlaku untuk sawit, diterapkan pada lokasi atau areal yang dapat di monitor dari perubahan penggunaan lahan yang menggunakan citra inderaja. Dengan kemampuan untuk mengakuisisi data secara temporal maka pengawasan perubahan penggunaan lahan, terutama menjadi perkebunan sawit dapat dikelola dan diawasi berkelanjutan. Pengurangan emisi melalui



Sumber: Nugroho *et al.* (2013)

Gambar 6. Garis hitam menunjukkan daerah gambut

Figure 6. Landsat TM images depicted peatland (black lines)

penerapan PLTB, juga dapat diawasi dari titik api yang muncul di lapangan. Pengawasan yang berbasis data penginderaan jauh/citra satelit dapat dikaji dan diidentifikasi kawasan atau lokasi yang cenderung berpotensi terjadi kebakaran atau akan mempunyai potensi untuk melakukan pembukaan lahan dengan dibakar.

Lahan gambut yang luas di Indonesia merupakan sebuah cadangan karbon yang besar. Deforestasi, konversi ke penggunaan lahan lainnya, khususnya perkebunan kelapa sawit dan hutan tanaman industri pohon kayu pulp, dan kebakaran berulang baru-baru ini menyebabkan pelepasan sejumlah besar karbon ini ke atmosfer. Jika emisi besar dari lahan gambut sebagai dampak kegiatan tersebut sebagai bukti bahwa di Indonesia juga merupakan salah satu penghasil emisi CO₂ yang besar. Untuk meningkatkan perkiraan jumlah karbon yang tersimpan di lahan gambut Indonesia kita diterapkan 3D modeling berdasarkan analisis gabungan citra satelit (Landsat ETM+, SRTM) dengan beberapa informasi pengukuran ketebalan kami. Data radar SRTM dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan di kubah gambut termasuk sebaran dan luasannya, kajian telah dilakukan di daerah lahan gambut di Kalimantan Tengah, Sumatera Selatan dan Papua Barat. Sebuah korelasi yang kuat adalah diperoleh antara permukaan kubah gambut yang cembung dan tanah mineral yang mendasari (sub-stratum), yang digunakan untuk menghitung volume gambut dan menyimpan karbon. Hasil kajian ini menunjukkan bahwa setidaknya terdapat 55 ± 10 Gt karbon disimpan di lahan gambut di Indonesia. Jumlah ini lebih tinggi dari hasil yang telah dipublikasikan sebelumnya, karena memper-hitungkan sifat permukaan yang cembung pada lahan gambut tropis. Dengan penyimpanan karbon yang sangat besar, dan sebagian telah terdegradasi lahan gambut tropis Indonesia dapat berdampak negatif terhadap perubahan iklim global (Jaenicke *et al.* 2013).

Teknologi penginderaan jauh sangat penting untuk mengkaji perubahan garis pantai yang dapat dihubungkan dengan kenaikan rerata tinggi muka laut global. Selain dengan adanya dukungan data yang terekam secara berurutan untuk mendapatkan proses perubahan, rekaman data dalam wilayah yang luas, data inderaja dapat digunakan untuk memperkirakan dampak atau hasil proses perubahan kenaikan tersebut.

Kenaikan pada abad ke-20, rata-rata kenaikan muka air laut terhitung sebesar 1,7 mm per tahun, walaupun kenaikan tersebut tidak terjadi secara seragam. Kenaikan yang lebih spesifik, sesuai posisi geografis, dapat menjadikan informasi yang sangat

berguna dalam mengantisipasi perubahan tersebut. Selain dapat memberikan informasi tentang arus, daerah potensial tangkapan ikan, dan hal lain yang berhubungan dengan perikanan, maka perubahan garis pantai, juga dapat digunakan untuk estimasi adanya kerentanan daerah pesisir terhadap bahaya abrasi, erosi, berkurangnya daerah basah termasuk rawa (yang menjadi kering), serta intrusi air laut. Kenaikan tinggi muka laut yang tidak seragam dapat berpengaruh pada pola arus laut. Ketidakseragaman secara spasial dapat dirunut dari data citra penginderaan jauh. Perubahan pola arus, juga meningkatkan potensi dan sebaran daerah terdampak, yaitu perluasan daerah tererosi, beralihnya garis pantai yang secara simultan akan mengurangi lahan basah di pantai dan pesisir. dan dengan perubahan pola garis pantai, maka laju intrusi air laut dapat cenderung menekan kearah pedalaman, sehingga mempengaruhi debit air tawar yang diperlukan untuk pertanian dan air untuk penduduk.

Penggenangan atau pun perubahan kondisi kelembaban tanah, hidrologi di daerah pesisir dapat diamati dengan penginderaan jauh. Dampak perubahan iklim yang nyata terhadap kondisi iklim, dapat diamati dengan membandingkan suatu kondisi pada suatu waktu dengan perubahannya dengan waktu. Penyebab dari perubahan dapat ditelusuri dari data gelombang, pasang surut, serta perubahan iklim dan hidrologi yang disebabkan oleh keadaan ekstrim seperti La Nina atau El Nino, yang secara langsung akan teramati dengan perubahan dalam kenaikan tinggi muka laut.

Analisis awal terhadap data simulasi gelombang menunjukkan bahwa rerata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada periode monsun Asia berkisar antara 1 hingga 6 m. Untuk Laut Jawa, tinggi gelombang maksimum, terutama Januari dan Februari mencapai 3,5 m. Hal ini menambah risiko banjir di daerah Pantai Utara Jawa (pantura) karena bertepatan dengan puncak musim penghujan di Indonesia. Selain risiko banjir di pantai, gelombang ekstrim juga berdampak buruk terhadap distribusi barang antar pulau yang banyak menggunakan transportasi laut. Disisi lain, analisis yang dilakukan terhadap fenomena El Nino dan La Nina (Sofian 2010) menunjukkan bahwa kedua fenomena tersebut akan lebih banyak berpeluang terjadi di masa mendatang dengan periode dua hingga tiga tahun sekali yang diduga disebabkan perubahan iklim.

Perubahan iklim di Indonesia berdampak cukup besar terhadap produksi bahan pangan, seperti jagung dan padi. Produksi bahan pangan dari sektor kelautan (ikan maupun hasil laut lainnya) diperkirakan akan mengalami penurunan yang sangat besar dengan

adanya perubahan pola arus, suhu, tinggi muka laut, umbalan, dan sebagainya. Indonesia bahkan berada pada peringkat 9 dari 10 negara paling rentan dari ancaman terhadap keamanan pangan akibat dampak perubahan iklim pada sektor perikanan

Tidak ada kaitannya dengan sumberdaya lahan pertanian Kementerian Pertanian telah melakukan beberapa kajian tentang perubahan iklim yang dikaitkan dengan aspek spasial, sebagai titik awal dari suatu program yang bermanfaat bagi penguatan basis ilmiah perubahan iklim menjadi program yang berbasis spasial. Dengan basis spasial (*land base*) koordinasi bagi sektor-sektor yang ada dapat mensinergikan kegiatan dalam rangka mengantisipasi perubahan iklim di Indonesia. Pada akhirnya, dengan adanya satu referensi, *database*-prosedur yang dirangkum pada satu Geoportal maka kapasitas masing-masing sektor dapat menjadi efisien untuk mengatasi berbagai persoalan akibat perubahan iklim di Indonesia

Perubahan iklim tegas disebabkan oleh salah satunya perubahan penggunaan lahan (IPCC 2006). Perubahan iklim sesuai dengan Margono *et al.* (2013) mengatakan bahwa Indonesia mengalami tingkat tertinggi ketiga deforestasi antara negara-negara tropis. Kondisi perubahan iklim dapat terjadi karena deforestasi. Penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengkaji kondisi *existing* hutan tepat waktu dan akurat pada skala nasional, hal ini sangat penting untuk menekan laju deforestasi dan degradasi hutan dalam inisiatif mitigasi dan kebijakan konservasi keanekaragaman hayati perubahan iklim.

Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) pada tahun 2009 menunjukkan peran penting hutan serta lahan gambut dalam memberikan kontribusi emisi karbon nasional. Pemerintah Indonesia berjanji untuk mengurangi emisi karbon nasional sekitar 26% dengan kemampuan sendiri dan/atau 41% bila ada bantuan dari negara lain pada tahun 2020 dengan berusaha mempertahankan pertumbuhan ekonomi tahunan sebesar 7%.

Bidang Sumberdaya Lahan dan Hidrologi

Perubahan iklim dapat dipantau melalui perubahan-perubahan (temporal) pada bentuk atau pola spasial. Perubahan yang mendasar dalam pola spasial lahan, adalah pemanfaatannya atau penggunaan lahan. Pemanfaatan bukan hanya dalam bentuk tampilan atau performance dari penutupan lahan, tetapi juga kepada kepemilikan atau status lahan tersebut. Integrasi teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografi (SIG) dapat digunakan untuk menggali

informasi tentang batas dan karakteristik penutupan dan indikasi status lahannya.

Penginderaan jauh satelit telah memberikan kemajuan besar dalam memahami sistem iklim dan perubahannya (Yang *et al.* 2013). Contoh pola hidrologi yang dapat diamati dengan penginderaan jauh, adalah pola kekeringan. Kekeringan adalah bencana alam dan fenomena yang kompleks. Kekeringan dianggap salah satu bahaya yang paling mahal karena dapat menyebabkan pasokan air berkurang dan akibatnya memiliki efek besar pada kegiatan pertanian dan sosial ekonomi Tingkat keparahan kekeringan tergantung pada durasi, intensitas, luasnya, dan kondisi sosial ekonomi setempat. Perubahan iklim akibat pemanasan global telah mengubah pola curah hujan dan memicu kekeringan yang lebih intensif dalam beberapa tahun terakhir. Dampak merugikan pada produksi tanaman mempengaruhi area yang luas dan karena itu memiliki biaya sosial ekonomi yang tinggi. Dampak tersebut telah menyebabkan meningkatnya perhatian terhadap pemantauan kekeringan. Pemantauan kekeringan pada skala regional sangat penting utama untuk perencanaan dan pengelolaan air untuk mengurangi kemungkinan dampak pada produksi tanaman.

Biomassa sebagai Sumber Cadangan Karbon

Kombinasi SPOT 5 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) satelit optik citra dan *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) bertahap tipe *Array L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) dapat digunakan untuk estimasi biomassa di atas tanah di hutan tropis yang lembab. Digunakan model regresi linier dikembangkan antara biomassa diukur dalam beberapa plot sampel lapangan dan parameter penginderaan jauh. Model regresi terbaik antara lain pada band NIR SPOT 5 dan HV *radar backscatter* dari ALOS PALSAR.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi dari data penginderaan jauh optik dan radar didukung oleh pengambilan sampel di lapangan dapat digunakan untuk memperkirakan biomassa di daerah hutan yang luas tropis lembab dengan menggunakan model regresi empiris dalam lingkungan yang agak homogen.

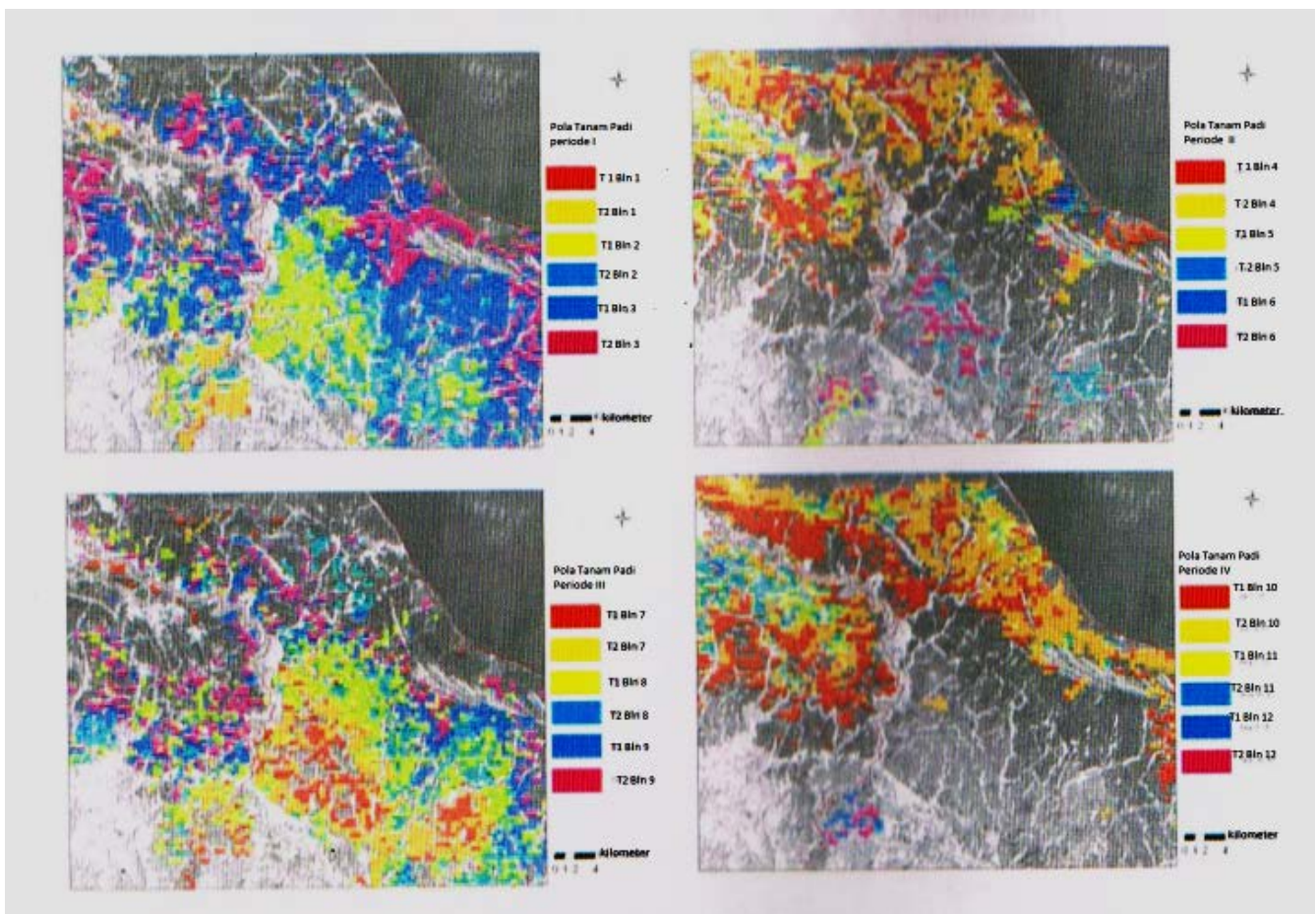
Monitoring Adanya Perubahan Penggunaan Lahan

Meningkatnya permintaan global untuk makanan dan biofuel mendorong penebangan hutan di daerah tropis semakin intensif. Ekspansi perkebunan kelapa sawit memberikan kontribusi untuk penurunan keanekaragaman hayati dan emisi karbon di Asia Tenggara. Namun, besaran dampak tersebut sebagian

besar belum dapat dikuantifikasi sampai sekarang. Hasil studi di Semenanjung Malaysia, untuk pemetaan perkebunan kelapa sawit menunjukkan bahwa luas perkebunan sawit di dataran rendah Semenanjung Malaysia (2 juta ha), Kalimantan (2,4 juta ha), dan Sumatera (3,9 juta ha). Diindikasikan 6% (atau sekitar 880.000 ha) lahan gambut tropis di wilayah tersebut telah dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit sekitar tahun 2000-an. Konversi hutan untuk kelapa sawit rawa gambut menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati dari 1% di Borneo (setara dengan empat spesies burung yang tinggal di hutan), 3,4% di Sumatera (16 spesies), dan 12,1% di Semenanjung Malaysia (46 spesies). Perubahan penggunaan lahan ini juga memberikan kontribusi terhadap hilangnya \approx 140 juta Mg karbon biomassa di atas tanah, dan emisi tahunan \approx 4.6 juta Mg karbon di bawah tanah dari oksidasi gambut. Selain itu, hilangnya hutan rawa gambut menyiratkan hilangnya layanan penyerapan karbon melalui akumulasi gambut, yang berjumlah \approx 660,000 Mg karbon per tahun. Pada

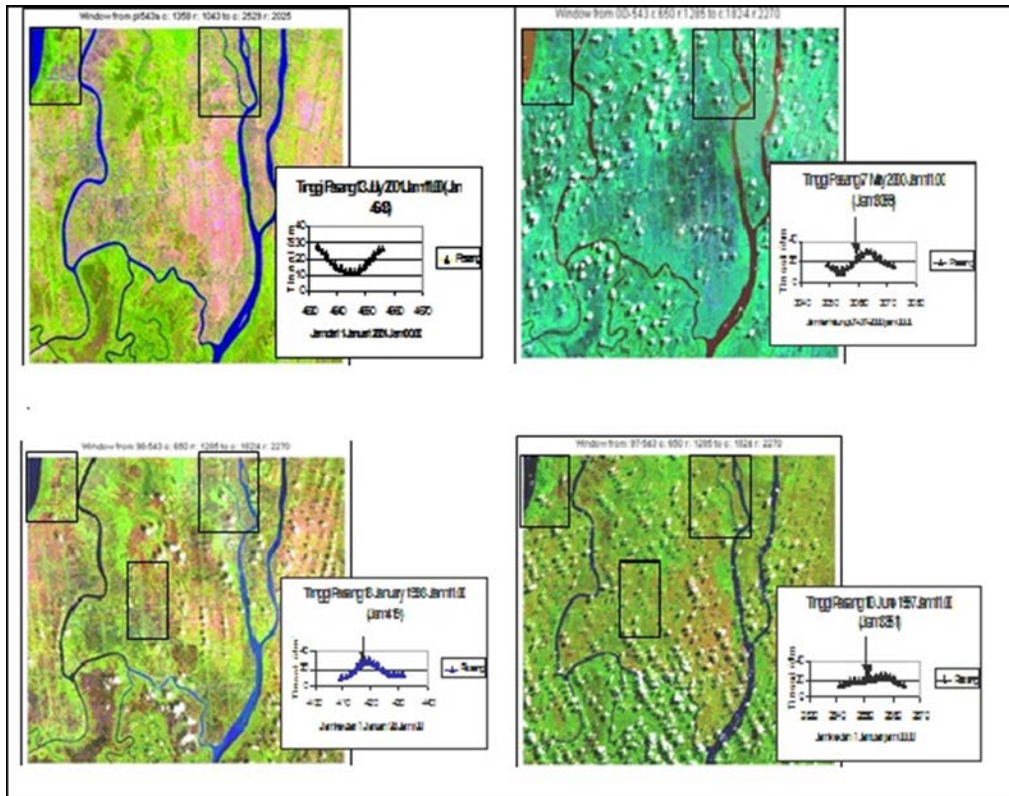
tahun 2010, 2,3 juta ha hutan rawa gambut telah ditebang, dan mulai saat itu terjadi degradasi lahan. Reboisasi dari pembukaan lahan tersebut dapat meningkatkan keanekaragaman hayati hingga \approx 20%, sedangkan pengembangan perkebunan kelapa sawit akan memperburuk kerugian spesies hingga \approx 12%. Untuk menjaga keanekaragaman hayati dan cadangan karbon di kawasan itu, upaya konservasi dan reboisasi harus dilakukan terutama di daerah Kalimantan Tengah, Riau, dan Kalimantan Barat, yang mempertahankan tiga perempat (3,9 juta ha) hutan rawa gambut yang tersisa di Asia Tenggara (Koh *et al.* 2011).

Perubahan sistem produksi tanaman pangan terdampak oleh perubahan iklim dapat dipantau dari perubahan pada waktu-waktu tertentu yang berkaitan dengan pertumbuhan tanaman. Seperti padi, pemantauan atau monitoring perubahan dari tiap tahap, dapat menentukan perubahan atau dampak iklim terhadap produksi padi (Rhizatus 2009). Perubahan-perubahan pola dan luasan menjadikan penentuan dampak perubahan iklim menjadi kuantitatif (Uchida 2009).



Sumber: Uchida (2009)

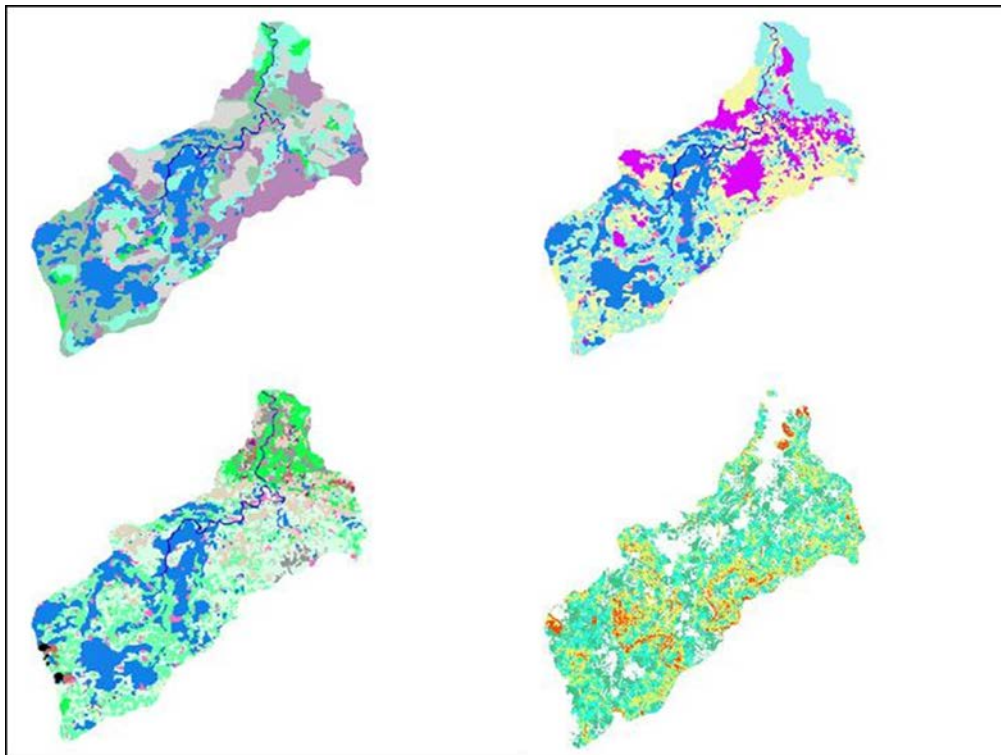
Gambar 7. Perubahan pola padi di Karawang dengan data MODIS
 Figure 7. Rice crop pattern changes in Karawang using MODIS data



Sumber: Nugroho (2004)

Gambar 8. Perubahan pemanfaatan lahan terkait kondisi pasang surut

Figure 8. Landuse change at tidal coastal areas



Sumber: Wiradisastra *et al.* (1998)

Gambar 9. Penggunaan Landsat TM untuk memprediksi tingkat erosi

Figure 9. The use of landsat TM for erosion study

Penggunaan MODIS, untuk menghitung luas tanam, luas panen setiap saat atau masa pertanaman, menjadikan kita dapat menghitung atau memprediksi produksi padi.

Kemudian dari dasar informasi spasial tersebut, keputusan untuk aksi yang nyata dapat diterapkan misalnya dalam bentuk komitmen bersama untuk melakukan tindakan yang dikaitkan dengan penurunan laju emisi GRK. Hal lain adalah kejadian ekstrim banjir dan kekeringan. Antisipasi banjir, dengan pembuatan tanggul dan saluran drainase, harus memperhatikan posisi dan kondisi geografis dari lahan yang bersangkutan. Pengetahuan tentang aliran dari lahan ke saluran yang lebih besar seperti ke sungai utama dilakukan dengan memperhitungkan *isohypses*, dan pola aliran permukaan/bawah permukaan.

Areal tutupan lahan dan karakteristik lahan, merupakan indikator yang dapat digunakan dengan interpretasi citra indraja untuk memonitor perubahan lahan dengan adanya perubahan iklim.

Indikator Penting Terjadinya Perubahan Iklim pada Kondisi Hidrologi

Proses perubahan iklim sangat mempengaruhi kondisi hidrologi dari suatu daerah pasang surut. Kondisi perubahan iklim sangat nyata terlihat pada kondisi kekeringan atau banjir di daerah tersebut. Kondisi banjir di daerah pasang surut dapat dilihat dari luapannya. Penggunaan data temporal (beberapa waktu) pada suatu lokasi untuk melihat perubahan hidrologinya dapat dilakukan dengan memperhatikan aspek lain, yang mempengaruhi perubahan (Nugroho 2004) seperti iklim, luapan, dan pasang surut. Penggunaan Landsat TM multi temporal sangat efektif untuk menentukan sifat luapan dari dengan bantuan informasi kondisi pasang surut di tempat tersebut (Nugroho *et al* 2007).

Penyusunan rencana tata tanam yang reliabel dan pelaksanaan sosialisasinya dalam rangka antisipasi kekeringan dilakukan dengan menggunakan model tanaman yang sesuai dengan memperhitungkan pola tanam, serta areal yang dapat diketahui dari penginderaan jauh.

Faktor produksi dipadukan dengan data inderaja, untuk menentukan areal tanam, areal panen dan areal pada fase pertumbuhan (vegetatif/generatif) pada komoditas tanaman yang kita tanam.

Penyelenggaraan perbaikan sistem pengelolaan lahan dan air (irigasi) menyesuaikan dengan komoditas yang ditanam pada areal tertentu. dengan meng-

integrasikan mengintroduksi *Early Warning System* (peringatan dini) untuk berbagai risiko perubahan iklim.

Pelaksanaan penerapan teknologi, dengan dasar lahan (*land base*) menjadikan pengaturan operasi pengelolaan lahan dan air dapat dilakukan dengan seksama bagi tiap bidang yang dapat diamati dari sebaran spasialnya. Perubahan iklim, seperti perubahan intensitas hujan, yang tidak merata, dapat dilihat dari penggunaan data spasial iklim yang tersedia, dengan tambahan adanya pencatatan karakteristik iklim dengan alat ukur yang teliti.

Meningkatkan manajemen dan mengembangkan sarana prasarana pengelolaan lahan dan air untuk pengendalian daya rusak oleh iklim (kekeringan maupun banjir).

PENUTUP

Teknologi penginderaan jauh/citra satelit sangat potensial untuk digunakan: (i) estimasi cadangan karbon dan perubahannya, perubahan iklim dan sistem hidrologi, kekayaan keanekaragaman hayati, dan monitoring perubahan penggunaan lahan/penutupan vegetasi. Namun validasi lapangan sangat diperlukan kasil kajian dapat sesuai dengan kondia aktual di lapangan Analisis perubahan iklim perubahan iklim berbasis geospasial dan teknologi penginderaan jauh, dilakukan berkaitan dengan perubahan garis pantai (batimetri). perubahan penggunaan lahan, kekeringan. Kebanjiran, atau perubahan permukaan/paras muka air laut kenaikan suhu pada bidang lahan. Emisi gas rumah kaca, perubahan kandungan karbon, intrusi air laut. termasuk beberapa faktor yang berkaitan mitigasi, seperti perubahan penggunaan atau perubahan penutup lahan.

Perubahan penutup lahan dan penggunaan lahan dinyatakan sebagai salah satu penyebab terjadinya kenaikan emisi gas rumah kaca. Selain penutup lahan maka perubahan biomasa atau kandungan karbon baik diatas maupun dibawah permukaan merupakan faktor indikasi adanya perubahan iklim. Usaha untuk mengurangi emisi gas rumah kaca antara lain berupa: mengurangi penggunaan lahan dari hutan, pemanfaatan dan pengelolaan lahan terlantar/terdegradasi untuk pertanian tanaman tahunan yang mempunyai rosot karbon tinggi (tanaman tahun yang mempunyai nilai ekonomi tinggi dan rendah emisi), mengelola air untuk mengurangi terjadinya oksidasi bahan organik terutama di lahan gambut.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M. 2012. Pendekatan baru pemetaan bathymetric menggunakan data penginderaan jauh spot: studi kasus Teluk Perigi dan Teluk Popoh. *Jurnal Teknologi Dirgantara* 10(1):71-80.
- Balitbangtan. 2011. Pedoman Umum Adaptasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. 67 p.
- Balitbangtan. 2011a. Road Map Strategi Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. (Revisi). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. v+89 p.
- Bierwirth, P.N., T.J. Lee, and R.V. Burne. 1993. Shallow sea-floor reflectance and water depth derive by unmixing multispectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59:331-338.
- Dirgahayu, D. 2014. Monitoring Tanaman Padi Berbasis Data Remote Sensing dan Estimasi Produksi Padi untuk Mendukung Ketahanan Pangan. National Stakeholder Workshop on the (RIICE) Project 6 November 2014, Santika Hotel, Bogor, Indonesia.
- Field, R.D., Guido R. van der Werf, and S.P.S. Samuel. 2009. Human amplification of drought-induced biomass burning in Indonesia since 1960. *Nature Geoscience* 2(3):185-188.
- Green, E., A. Edwards, and P. Mumby. 2000. Mapping Bathymetry. In Edwards A. (ed.), *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*, Paris, Unesco, pp. 219-235.
- Hansen, M.C., V.S. Stephen, P.V. Potapov, R.L. Thomas, R.G.T. John, S.D. Ruth, and W.P. Kyle. 2008. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. Pp 9439-9444. In *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, No. 27.
- Houma, F., F. Belkessa, and N. Bachari. 2006. Contribution of multispectral satellite imagery to the bathymetric analysis of coastal sea bottom. *Revue des Energies Renouvelables* 9(3):165-172.
- IPCC. 1996. Synthesis of Scientific-Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change, and the Summaries for Policymakers from the three Working Group Reports.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.
- IPCC. 2013. Laporan IPCC ke 5 Kelompok Kerja I/Working Group I Contribution to the 5 th Assessment Report of the IPCC.
- Jaenicke, J., J.O. Rieley, C. Mott, P. Kimman, and F. Siegert 2008. Determination of the amount of carbon stored in Indonesian peatlands. *Geoderma* 147:151-158.
- Ji, W., D. Civco, and W. Kennard. 1992. Satellite remote bathymetry: a new mechanism for modeling. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58(5):545-549.
- Kerr, J.T. and M. Ostrovsky. From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology & Evolution* 18(6):299-305.
- Koh, L.P., J. Miettinen, S.S. Liew, and J. Ghazoul. 2011. Remotely sensed evidence of tropical peatland conversion to oil palm. Pp 5127-5132. In *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 No. 12.
- Margonon, B. Arunarwati, P.V. Potapov, S. Turubanova, F. Stolle, and M.C. Hansen. 2014. Primary forest cover loss in Indonesia over 2000-2012. *Nature Climate Change*.
- Mouillot, F., M.G. Schultz, C. Yue, P. Cadule, K. Tansey, P. Ciais, and E. Chuvieco. 2014. Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing-a review: analysis of user needs and recommendations for future developments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 26:64-79.
- Nugroho, K. 2004. Aspek Hidrologi dalam Klasifikasi Tipe Luapan Pasang Surut: Studi Kasus Daerah Telang Sumatera Selatan. *Sisertasi*. Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Nugroho, K., U.S. Wiradisastra, S. Arsyad, H. Pawitan, and Sudarsono. 2007. Detecting tidal flood pattern with Landsat TM Remote Sensing Data in South Sumatra Coastal Area. *Indonesian Soil and Climate Journal* 25:27-36.
- Nugroho, K., Wahyunto, Sholeh, dan W Supriatna, 2013. Muaro Jambi Lahan Gambut Skala 1:50.000. Balai Besar Sumberdaya Lahan, Pertanian Badan Litbang Pertanian, ICCTF-Bappenas ISBN 978-602-8977-38-8.
- Patenaude, G., R.A. Hill, R. Milne, D.L.A. Gaveau, B.B.J. Briggs, and T.P. Dawson 2004. Quantifying forest above ground carbon content using LiDAR remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 93(3):368-380.
- Ramdani, F., T. Moffiet, and M. Hino. 2014. Local surface temperature change due to expansion of oil palm plantation in Indonesia. *Climatic Change* 123(2): 189-200.
- Sofian, I. 2010. Memahami dan mengantisipasi dampak perubahan iklim pada pesisir dan laut di Indonesia Bagian Timur. *Dokumen* 819 Vol. 12 No. 1, Mei 2011. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Setiawan K.T., T. Osawa, dan I.W Nuarsa. 2014. Aplikasi Algoritma Van Hengel dan Spitzer untuk Ekstraksi informasi Batimetri Menggunakan Data Landsat Pengolahan Data dan Pengenal Pola. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh* 2014.
- Shofiyati, R. 2009. Characterization of paddy rice planting. Pp 121-133. In *Proceedings of the ICALRO-JIRCAS Workshop on Enhancement of Remote Sensing and GIS Technologies for Sustainable Utilization of*

Agricultural Resources in Indonesia. ICALRD-JIRCAS. ISBN 978-602-8039-18-5.

- Uchida, S. 2009. Overview of collaborative research project: enhancement of remote sensing and GIS technology for sustainable utilization of agricultural resources in Indonesia. Pp 7-9. *In* Proceedings of the ICALRO-JIRCAS Workshop on Enhancement of Remote Sensing and GIS Technologies for Sustainable Utilization of Agricultural Resources in Indonesia. ICALRD-JIRCAS. ISBN 978-602-8039-18-5.
- Uchida, S. 2009. Identification of seasonal features of crop planting. Pp 104-120. *In* Proceedings of the ICALRO-JIRCAS Workshop on Enhancement of Remote Sensing and GIS Technologies for Sustainable Utilization of Agricultural Resources in Indonesia. ICALRD-JIRCAS. ISBN 978-602-8039-18-5.
- Wiradisastra, U.S., K. Nugroho, dan Bambang E.T. 1998. SILK Prototipe Sistem Pakar Inventarisasi, Perencanaan, dan Pemantauan Rehabilitasi lahan Terdegradasi. Makalah dalam Seminar Kongress HITI, Malang.
- Yang, J., P. Gong, R. Fu, M. Zhang, J. Chen, S. Liang, B. Xu, J. Shi, and R. Dickinson. 2013. The role of satellite remote sensing in climate. *Nature Climate Change Advance Online-Publication* : www.nature.com/nature-climate-change DOI: 10.1038/NCLIMATE1908.
- Younes, B. 2008. Application of Space-Based Remote Sensing to Climate Change & Disaster Relief High Level Segment ITU Council 2008 November 13, 2008. Badri Younes Deputy Associate Administrator for Space Communications & Navigation. NASA.-Space Comm. And Navigation.