

# PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMANTAUAN LINGKUNGAN MANGROVE

Yenni Vetrifa, Suwarsono, Parwati Sofan

## Abstract

The study was conducted in order to explore the development of remote sensing capabilities for monitoring mangrove environment. Review in this paper was focused on the condition of Indonesian mangroves and its monitoring using remote sensing methods. The results showed a drastic decline mangrove area in Indonesia. But in terms of the development of methods for monitoring the environment of mangrove seen the rapid advances in the technology used. The selection and incorporation of multi temporal, spatial, and spectral imagery, including the use of optical and radar imagery is highly recommended for these activities. Even so, it is necessary to consider the site specific and its scale interests as well.

Key words: Remote sensing, mangrove, Indonesia.

## Abstrak

Kajian ini dilakukan dalam rangka menggali perkembangan kemampuan penginderaan jauh untuk pemantauan lingkungan mangrove. Ulasan dalam tulisan ini difokuskan pada kondisi mangrove Indonesia dan metode pemantauan menggunakan penginderaan jauh. Hasilnya menunjukkan adanya penurunan drastis area mangrove Indonesia. Namun dari sisi perkembangan metode untuk monitoring lingkungan mangrove terlihat adanya kemajuan pesat dalam teknologi yang digunakan. Pemilihan dan penggabungan citra multi temporal, spasial dan spectral, termasuk pemanfaatan citra optis dan Radar sangat direkomendasikan untuk kegiatan tersebut. Meskipun demikian, perlu mempertimbangkan spesifik lokasi maupun skala kepentingannya.

Kata kunci: Penginderaan jauh, lingkungan mangrove, Indonesia.

## 1. PENDAHULUAN

Mangrove (hutan bakau) tersebar di wilayah tropis dan subtropis (posisi koordinat 30 lintang utara-30 lintang selatan), yang terletak pada wilayah pasang surut antara laut dan pantai (Giri *et al.*, 2011). Dengan ekosistem yang sangat kompleks, keberadaannya pun sangat berpengaruh terhadap keberadaan fauna flora di sekitarnya. Disamping itu, penelitian baru-baru ini menunjukkan bahwa mangrove merupakan penyimpan kandungan karbon terbanyak dibandingkan jenis hutan lainnya (Donato *et al.*, 2012).

Indonesia memiliki mangrove paling luas di Asia Tenggara (Giesen *et al.*, 2007; Polidoro *et al.*, 2010) dengan biodiversity paling tinggi di dunia (Kuenzer *et al.*, 2011). Mangrove tersebar di sepanjang wilayah pesisir Indonesia yang sebagian besar tidak mudah diakses, misalnya di Papua. Akan tetapi, ada kelebihan dan kekurangan dibalik kesulitan aksesibilitas ini. Hal positifnya adalah dapat mempertahankan keberadaan mangrove dibandingkan dengan jenis hutan lainnya yang lebih mudah diakses. Hal ini mengingat banyaknya campur tangan manusia dalam kasus deforestasi/degradasi hutan di Indonesia. Sebaliknya, akibat aksesibilitas yang sulit, pemantauan tentang keberadaan wilayah maupun estimasi besarnya potensi sumberdaya alam dari mangrove menjadi sulit pula dilakukan. Disamping itu, pemulihan ekosistem ini juga membutuhkan waktu yang lama bila telah terdegradasi. Namun dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh, kegiatan pemantauan menjadi memungkinkan untuk dilakukan termasuk melakukan asesmen terhadap lingkungan mangrove.

Tulisan ini bertujuan untuk mengungkapkan beberapa kemampuan penginderaan jauh yang signifikan dalam kegiatan pemantauan lingkungan maupun sumberdaya mangrove, khususnya di wilayah Indonesia.

## 2. DATA DAN METODE

Pengkajian ini dilakukan dengan memanfaatkan studi literatur dari makalah hasil penelitian baik yang dilakukan di Indonesia maupun di luar negeri. Ulasan dalam tulisan ini akan diarahkan pada beberapa topik, yaitu kondisi mangrove Indonesia dan metode pemantauan menggunakan penginderaan jauh.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kondisi mangrove Indonesia

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Giri *et al.* (2011), luas area mangrove di dunia pada tahun 2000 tercatat sebesar 137.760 km<sup>2</sup> yang tersebar pada 118 negara. Diperkirakan 75% dari mangrove dunia tersebut ditemukan pada 15 negara saja, termasuk Indonesia. Hanya 6,9% dari wilayah tersebut yang berada dan ditetapkan di area lindung (IUCN I-IV). Studi ini juga menemukan fakta baru bahwa distribusi mangrove terbesar di

dunia ditemukan antara koordinat 5 LU-5 LS, yang salah satunya adalah terletak di wilayah Indonesia.

Akan tetapi, laju kehilangan mangrove dilaporkan tinggi, diantaranya di Sulawesi Selatan yang mengalami penurunan drastis sejak tahun 1965 hingga 1994 dari 110.000 ha (Nurkin, 1994). Kawasan mangrove Indonesia berdasarkan data dari Kementerian Kehutanan (Kemenhut) pada tahun 2011 adalah sekitar 2,83 juta ha (Gambar 1), yang terdiri dari dua kelas, yaitu hutan primer dan sekunder. Dalam tulisannya Choong *et al.* tahun 1990 menyebutkan bahwa total area mangrove di Indonesia adalah 4,25 juta ha yang merupakan 20% dari total mangrove dunia. Mangrove yang berada di Papua saat itu masih berjumlah 2,94 juta ha dalam kondisi masih bagus. Namun bila melihat jumlah ini, maka terlihat adanya penurunan yang sangat drastis atas luas mangrove Indonesia sejak tahun 1990 hingga sekarang. Kondisi ini tentunya sangat memprihatinkan.

Pengelolaan mangrove Indonesia sebenarnya diatur oleh prinsip optimalisasi fungsi ekologi dan sosial ekonomi dengan mempertimbangkan undang-undang dan peraturan yang ada, seperti Undang-undang Nomor 24 Tahun 1992 tentang Penataan Ruang dan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung. Kewenangan utama dalam pengelolaan mangrove di Indonesia adalah Kementerian Kehutanan sementara kementerian lainnya adalah Kementerian Kelautan dan Perikanan serta Kementerian Lingkungan Hidup.



**Gambar 1. Sebaran mangrove Indonesia yang ditunjukkan oleh warna hijau (sumber: Kementerian Kehutanan, 2012)**

Kegiatan pemetaan mangrove di Indonesia masih bersumber dari banyak pihak, baik dari pemerintah maupun lembaga *non* pemerintah. Pemetaan ini dihasilkan dari berbagai sumber data dan juga mempunyai beberapa pemahaman atas ekosistem mangrove itu sendiri. Namun ide untuk menghasilkan pemetaan dari satu sumber (*one map policy*) yang dikoordinasikan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) diharapkan dapat menjadi langkah baik untuk membuat suatu kebijakan nasional konservasi maupun pemeliharaan mangrove lebih lanjut.

### 3.2. Pemantauan mangrove menggunakan data penginderaan jauh

Pemantauan mangrove menggunakan data penginderaan jauh sudah cukup banyak digunakan mengingat kemampuannya yang dapat memberikan informasi mulai dari perubahan tutupan hingga informasi rinci kondisi tutupan wilayahnya. Informasi yang dapat dihasilkan dari data ini antara lain adalah (Kuenzer *et al.*, 2011):

- inventarisasi habitat (penentuan batas, spesies dan komposisi, status kesehatan);
- deteksi perubahan dan kegiatan pemantauan (penggunaan lahan, tutupan lahan, konservasi dan keberhasilan reboisasi, silvikultur, dan pengembangan akuakultur);
- dukungan evaluasi ekosistem;
- penilaian produktivitas (estimasi biomassa);
- estimasi kapasitas regenerasi;
- manajemen mangrove (perikanan, kegiatan budidaya, pengelolaan konservasi, pedoman manajemen dan strategi);
- perencanaan survei lapangan;
- penilaian kualitas air;
- informasi untuk manajemen bencana, dan
- bantuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan ekologi dan biologi dan proses, fungsi, dan dinamikanya.

Klasifikasi mangrove menggunakan data penginderaan jauh sudah cukup banyak digali. Beberapa diantaranya akan dibahas dalam tulisan ini. Pada tahun 1998, Green *et al.* melakukan perbandingan lima metode untuk memisahkan antara vegetasi mangrove dan *non* mangrove di Caicos Bank, Pulau Turks and Caicos, British West Indies, menggunakan beberapa data penginderaan jauh, yaitu Landsat TM, SPOT XS dan CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*). Metode yang dibandingkan adalah interpretasi visual, klasifikasi terbimbing (*supervised*), tidak terbimbing (*unsupervised*), rasio kanal (*band*)/*Principical Component Analysis/supervised*, dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semua klasifikasi menggunakan data SPOT XS tidak mampu memisahkan dengan baik antara vegetasi mangrove dan *non* mangrove. Sebaliknya semua metode menggunakan CASI diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan Landsat TM. Meskipun demikian, penggabungan antara Landsat TM and SPOT XP dapat meningkatkan interpretasi visual meskipun tidak dapat membedakan kelas mangrove. Dalam studi kasus di wilayah ini yang merupakan vegetasi mangrove besar (pohon dengan tinggi >30m), disarankan menggunakan metode Landsat TM dan *PCA/band ratio* jika yang dibutuhkan adalah pemisahan antara mangrove dan *non* mangrove di area yang cukup luas, yang dapat menghemat biaya dan waktu. Namun bila yang dibutuhkan adalah untuk pemisahan antar kelas mangrove, maka sebaiknya CASI dan *PCA/band ratio* yang digunakan. CASI yang memiliki resolusi spasial tinggi (1 m) dengan 8 spektral, sangat ideal digunakan untuk tujuan ini.

Selanjutnya Gao *et al.* (1999) telah mereview pengkelasan hutan mangrove di Western Waitemata Harbour, Auckland, Selandia Baru, dalam kategori subur dan terhambat. Dalam penelitiannya yang menggunakan SPOT HRV dan citra Landsat TM pada resolusi 10, 20 dan 30 m, telah memilih metode *maximum likelihood* untuk dikaji. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Landsat TM memberikan akurasi 95% untuk mangrove yang rimbun, dan sedikit lebih rendah untuk mangrove yang terhambat pertumbuhannya (87,5%). Hasil akurasi dari SPOT XS yang memiliki resolusi spasial lebih tinggi (20 m) sedikit lebih rendah daripada yang dihasilkan TM, yaitu 77,5% and 67,5%. Nilai akurasi meningkat menjadi 80% setelah digabungkan dengan band panchromatic (10 m). Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa resolusi spektral yang lebih tinggi jauh lebih penting daripada resolusi spasial yang tinggi untuk wilayah temperate, seperti di lokasi studi.

Dalam perkembangan lebih lanjut, kemampuan sensor baru dengan metode yang baru pun terus ditingkatkan. Kemampuan Radar untuk memisahkan mangrove dengan obyek lain juga telah dikaji. Rocha de Souza Pereira *et al.* (2012) telah mengevaluasi kemampuan JERS-1 SAR and ALOS PALSAR untuk monitoring perubahan mangrove di Amazon. Metode yang digunakan adalah klasifikasi *object based* L-Band data Synthetic Aperture Radar (SAR) yang sangat efektif untuk pemetaan mangrove dan direkomendasikan sebagai alat manajemen pesisir. Akurasi terbaik (0.739) dengan indeks Kappa 0.734 telah ditemukan dalam penelitian yang mereka lakukan yaitu menggunakan 10 atribut dan 3 indeks vegetasi dari SAR sebagai input klasifikasi digital. Lebih lanjut, Flores De Santiago *et al.* (2013) juga menemukan bahwa Multipolarisasi ALOS PALSAR L-band menggunakan metode *object based* seperti Pereira *et al.* (2012), juga memungkinkan untuk memisahkan secara akurat area mangrove, yakni antara zona air asin (*saltpan*) dan tawar (*water/shallow*). Dari penelitian ini juga telah ditemukan bahwa dual-polarisasi data, dengan filter 3 x 3 *Lee speckle* dan skala segmentasi 5, memberikan hasil akurasi yang baik sebesar 64,9%.

Pendekatan metode yang sama juga telah digunakan oleh Quoc Tuan *et al.* (2013) untuk mengestimasi persentase keberadaan mangrove yang bercampur dengan akuakultur. Hasil dari penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai pertimbangan bagi pemerintah dalam memonitor perkembangan luas area peternakan udang di negara tersebut. Hasil yang diperoleh menunjukkan akurasi yang lebih dari 75% pada beberapa kelas level obyek. Disamping itu juga telah ditemukan kemampuan metode dengan akurasi yang tinggi dalam mengidentifikasi daerah-daerah budidaya dan tutupan mangrove dalam kelas yang bercampur. Berdasarkan hasil ini, pengembangan mangrove, khususnya dalam sistem pertanian-mangrove udang, dapat dipantau. Namun, fraksi tutupan hutan mangrove per obyek dipengaruhi oleh segmentasi citra sehingga tidak selalu sesuai dengan batas-batas pertanian di lapangan. Oleh karena itu, hal ini tetap menjadi sebuah tantangan yang serius untuk menghasilkan pemetaan mangrove dalam tutupan yang bercampur.

Disamping metode klasifikasi yang dijelaskan sebelumnya, penggunaan indeks dari spektral penginderaan jauh, misalnya *mangrove recognition index* (MRI) telah dibangun sebagai alat

monitoring cepat (*quick monitoring*) perubahan tutupan mangrove (Zhang *et al.*, 2013). Terkait dengan pemetaan mangrove menggunakan perbedaan spesies, Wang *et al.* (2004) telah melakukan penelitian menggunakan data IKONOS 1-m panchromatic and 4-m multispectral di Punta Galeta, Karibia, Panama. Hipotesis awalnya adalah pemisahan spektral antar spesies akan meningkat dengan menjadikan obyek sebagai unit basis spasial. Untuk menguji hal tersebut, ada tiga metode klasifikasi yang digunakan, yaitu *maximum likelihood classification* (MLC) pada level piksel, klasifikasi *nearest neighbour* (NN) pada level obyek, dan klasifikasi hybrid (penggabungan metode piksel dan obyek/MLCNN). Akurasi tertinggi ditunjukkan oleh klasifikasi MLCNN (91.4%) dibandingkan metode klasifikasi yang lain. Lebih lanjut Huang *et al.* (2009) telah mengevaluasi tekstur morfologi untuk pemetaan mangrove dan perbedaan 3 jenis mangrove menggunakan citra multispectral IKONOS yaitu jenis *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* dan *Avicennia germinans*. Dengan menggabungkan 2 metode, yaitu *Vector Stacking* dan *Support Vector Machine* (SVM), hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa output fusi SVM memberikan peningkatan akurasi 2% daripada pendekatan *vector stacking* saja.

Pemetaan distribusi spasial mangrove hanya mungkin dilakukan bila kawasan mangrove dapat secara akurat dibedakan dari sekitar vegetasi non-mangrove. Namun kekhasan setiap lokasi menjadi perhatian khusus, misalnya penemuan oleh Kay *et al.* (1991) yang sulit membedakan antara vegetasi hutan hujan (*rainforest*) dari mangrove pesisir menggunakan Landsat MSS dan foto udara. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Woodfine (1991) dalam Green *et al.* (1998) ketika teknik *unsupervised classification* digunakan pada data Landsat TM di Filipina, sebaliknya *supervised* dinilai lebih baik.

### 3.2. Estimasi nilai mangrove

Nilai ekosistem mangrove, tidak hanya terbatas pada vegetasi yang berada di atasnya melainkan juga flora dan fauna yang menggantungkan hidup pada keberadaan vegetasi tersebut. Mangrove juga telah menjadi "rumah" bagi fauna (biota laut) yang hidup di sekitarnya, misalnya kepiting, udang, dll. Komposisi senyawa nitrogen yang merupakan penentu untuk bioavailabilitas daun pohon mangrove sangat menentukan preferensi makanan kepiting.

Salah satu wilayah studi yang cukup banyak menjadi perhatian dunia adalah di Laguna Segara Anakan, Cilacap. Di lokasi ini sebelumnya telah banyak riset yang dilakukan, misalnya pada tahun 1989 melalui program ASEAN-US Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dilakukan yang menggambarkan profil laguna (White *et al.*, 1989). Proyek lain yang telah dilakukan juga pada tahun 2003-2010 adalah SPICE Jerman-Indonesia (Ilmu untuk Perlindungan Ekosistem Laut Pesisir Indonesia). Program ini telah mengeksplorasi informasi tentang lingkungan fisik dan biogeokimia mangrove (Jennerjahn *et al.*, 2009), misalnya untuk penggunaan lahan contoh dan perubahan tutupan lahan selama dua dekade terakhir (Ardli *et al.*, 2009), pengembangan manajemen pakan ramah lingkungan bagi spesies ikan kolam-dibesarkan (Yuwono *et al.*, 2009), parasit ikan metazoan dan menggunakan potensi mereka

sebagai indikator biologis (Rueckert *et al.*, 2009), variasi spatio-temporal komunitas makrobenthos (Nordhaus *et al.*, 2009), dll. Selain itu, penilaian ekonomi dan sosial juga dilakukan, antara lain, potensi konflik antara kelompok-kelompok pemangku kepentingan di kawasan Segara Anakan yang bisa berkurang jika kelangkaan sumber daya alam yang berkurang (Rechel *et al.*, 2009). Dari semua studi ini, hanya sedikit jumlah penelitian yang dilakukan untuk biomassa pemetaan mangrove.

Di tingkat nasional, Brazil dan Indonesia mengandung 35% dari total karbon yang tersimpan di hutan tropis dan menghasilkan emisi terbesar dari hilangnya hutan (Baccini *et al.*, 2012). Perhitungan karbon yang berada di atas permukaan, khususnya yang disimpan oleh vegetasi, umumnya diestimasi dari biomasa (Fatoyinbo *et al.*, 2010). Karbon yang tersimpan dihitung sebagai setengah dari biomasanya, yang dapat dikalkulasi dari data penginderaan jauh secara spasial (Heumann, 2012), termasuk dengan pendekatan secara langsung menggunakan parameter dari penginderaan jauh (Goetz *et al.*, 2009). Hingga saat ini, penelitian biomasa hutan lebih banyak difokuskan pada hutan lahan kering (Samalca *et al.*, 2007; De Gier *et al.*, 2012; Laumonier *et al.*, 2010; Basuki *et al.*, 2009). Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengestimasi biomasa hutan termasuk mangrove, yaitu (Goetz *et al.* 2009):

- *Stratify and Multiply (SM)*, yaitu pendekatan yang menetapkan nilai tunggal (atau rentang nilai) untuk masing-masing dari sejumlah tutupan lahan, tipe vegetasi, atau kelas peta tematik lainnya.
- *Combine and Assign (CA)* yaitu pendekatan yang merupakan perluasan dari pendekatan SM, dengan menggunakan dataset dan informasi yang lebih luas, untuk mengembangkan estimasi *field Above Ground Biomass (AGB)* atau biomasa di atas permukaan.
- *Direct Remote sensing (DR)*, yaitu pendekatan dengan menggunakan data penginderaan jauh dengan menggabungkannya dengan data lapangan untuk membuat peta secara spasial.

Di Indonesia pernah dilakukan penelitian oleh Wijaya *et al.* (2009) yang menemukan adanya korelasi yang bagus antara biomasa dengan SAR. Disamping itu, penggabungan antara SAR dan ETM disebutkan pula dapat meningkatkan akurasi estimasi biomasa dan klasifikasi penggunaan lahannya. Disamping data Radar, reflektansi spektral sebuah obyek dari data optis juga dapat digunakan untuk memisahkan antar spesies mangrove karena adanya nilai spectral yang unik tiap spesies dalam merespon pada sinar tampak (*visible range*) maupun Inframerah dekat (*Near Infrared*) (Kamaruzaman dan Kasawani, 2007).

#### 4. KESIMPULAN

Teknologi penginderaan jauh yang cukup pesat berkembang, memungkinkan banyaknya pilihan atas citra yang digunakan, baik dari sisi spektral, temporal maupun spasialnya. Hal yang paling penting dipertimbangkan adalah pemilihan metode yang tepat sesuai dengan (1) tujuan (apakah untuk riset atau kegiatan monitoring), (2) kondisi spesifik lokasi mangrove,

maupun (3) tingkat skala kepentingannya (apakah lokal, regional, nasional, dll). Hal lain yang kembali ingin ditekankan adalah pentingnya penggalan informasi yang lebih detail terkait dengan spesifik lokasi termasuk akurasi metode yang cocok di wilayah Indonesia, sehingga bisa jadi metode umum yang berlaku secara global, tidak akan pas untuk Indonesia. Kami juga melihat bahwa penggabungan beberapa metode termasuk citra multi skala, multi sensor dan temporal, sangat membantu dalam meningkatkan akurasi, terutama untuk kegiatan pemantauan yang sangat dibutuhkan secara nasional. Meskipun asesmen menggunakan penginderaan jauh memiliki kelemahan terkait dengan ukuran spasialnya dibandingkan dengan data lapangan, namun paling tidak data ini dapat memberikan masukan sebagai informasi awal assessmen di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardli, E. R., & Wolff, M. (2009). Land use and land cover change affecting habitat distribution in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 9(4), 235-243.
- Baccini, A., Goetz, S. J., Walker, W. S., Laporte, N. T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., & Houghton, R. A. (2012). Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, 2(3), 182-185.
- Basuki, T. M., Van Laake, P. E., Skidmore, A. K., & Hussin, Y. A. (2009). Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 257(8), 1684-1694.
- Choong, E. T., Wirakusumah, R. S., & Achmadi, S. S. (1990). Mangrove forest resources in Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 33, 45-57.
- De Gier, I. K. S. A., & Hussin, Y. A. (2012). Estimation Of Tropical Forest Biomass For Assessment Of Carbon Sequestration Using Regression Models And Remote Sensing In Berau. East Kalimantan, Indonesia, Department of Natural Resources, The International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), Hengelosstraat, 99, 7500.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293-297.
- Flores De Santiago, F., Kovacs, J. M., & Lafrance, P. (2013). An object-oriented classification method for mapping mangroves in Guinea, West Africa, using multipolarized ALOS PALSAR L-band data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(2), 563-586.
- Gao, J. (1999). A comparative study on spatial and spectral resolutions of satellite data in mapping mangrove forests. *International Journal of Remote Sensing*, 20(14), 2823-2833.

- Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M., & Scholten, L. (2007). Mangrove guidebook for Southeast Asia. FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., ... & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154-159.
- Goetz, S. J., Baccini, A., Laporte, N. T., Johns, T., Walker, W., Kellndorfer, J., Houghton, R.A., and Sun, M. (2009). Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. *Carbon balance and management*, 4(1), 2.
- Green, E. P., Clark, C. D., Mumby, P. J., Edwards, A. J., & Ellis, A. C. (1998). Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 935-956.
- Heumann, B. W. (2011). Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35(1), 87-108.
- Huang, X., Zhang, L., & Wang, L. (2009). Evaluation of morphological texture features for mangrove forest mapping and species discrimination using multispectral IKONOS imagery. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 6(3), 393-397.
- Jachowski, N. R., Quak, M. S., Friess, D. A., Duangnamon, D., Webb, E. L., & Ziegler, A. D. (2013). Mangrove biomass estimation in Southwest Thailand using machine learning. *Applied Geography*, 45, 311-321.
- Jennerjahn, T.C. and Yuwono, E. Segara Anakan, Java, Indonesia, a mangrove-fringed coastal lagoon affected by human activities. *Reg. Environ. Change* (2009) 9:231-233.
- Kamaruzaman, J., & Kasawani, I. (2007). Imaging spectrometry on mangrove species identification and mapping in Malaysia. *WSEAS Trans Biol Biomed*, 8, 118-126.
- Kovacs, J. M., Vandenberg, C. V., Wang, J., & Flores-Verdugo, F. (2008). The use of multipolarized spaceborne SAR backscatter for monitoring the health of a degraded mangrove forest. *Journal of Coastal Research*, 248-254.
- Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sensing*, 3(5), 878-928.
- Laumonier, Y., Edin, A., Kanninen, M., & Munandar, A. W. (2010). Landscape-scale variation in the structure and biomass of the hill dipterocarp forest of Sumatra: Implications for carbon stock assessments. *Forest ecology and management*, 259(3), 505-513.
- Lee, T. M., & Yeh, H. C. (2009). Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan. *Ecological engineering*, 35(4), 487-496.
- Nordhaus, I., Hadipudjana, F. A., Janssen, R., & Pamungkas, J. (2009). Spatio-temporal variation of macrobenthic communities in the mangrove-fringed Segara Anakan lagoon, Indonesia, affected by anthropogenic activities. *Regional Environmental Change*, 9(4), 291-313.

- Nurkin, B. (1994). Degradation of mangrove forests in South Sulawesi, Indonesia. *Hydrobiologia*, 285(1-3), 271-276.
- Polidoro, B. A., Carpenter, K. E., Collins, L., Duke, N. C., Ellison, A. M., Ellison, J. C., ... & Yong, J. W. H. (2010). The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *PLoS One*, 5(4), e10095.
- Reichel, C., U.U. FrÖmming, M. Glaser. Conflicts between stakeholder groups affecting the ecology and economy of the Segara Anakan region. *Reg Environ Change* (2009) 9:335–343.
- Rocha de Souza Pereira, F., Kampel, M., & Cunha-Lignon, M. (2012). Mapping of mangrove forests on the southern coast of São Paulo, Brazil, using synthetic aperture radar data from ALOS/PALSAR. *Remote Sensing Letters*, 3(7), 567-576.
- Rueckert, S., Hagen, W., Yuniar, A. T., & Palm, H. W. (2009). Metazoan fish parasites of Segara Anakan Lagoon, Indonesia, and their potential use as biological indicators. *Regional Environmental Change*, 9(4), 315-328.
- Samalca, I. K. (2007). Estimation of forest biomass and its error: a case in Kalimantan, Indonesia. Unpublished MSc. Thesis, ITC the Netherlands, Enschede.
- Wang, L., Sousa, W. P., & Gong, P. (2004). Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(24), 5655-5668.
- White, A.T., P. Martosubroto and M.S.M. Sadorra, editors. 1989. The coastal environmental profile of Segara Anakan-Cilacap, South Java, Indonesia. ICLARM Technical Reports 25, 82 p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines
- Wijaya, A., & Gloaguen, R. (2009, July). Fusion of ALOS Palsar and Landsat ETM data for land cover classification and biomass modeling using non-linear methods. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009* (Vol. 3, pp. III-581). IEEE.
- Yuwono, E., & Sukardi, P. (2009). Development of an environment-friendly feeding management for pond-reared fish species in the Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 9(4), 329-333.
- Zhang, X., & Tian, Q. (2013). A mangrove recognition index for remote sensing of mangrove forest from space. *CURRENT SCIENCE*, 105(8), 1149.

## BIOGRAFI PENULIS

### Yenni Vetrta, S.Hut, M.Sc.



Email : [yenni.vetrita@lapan.go.id](mailto:yenni.vetrita@lapan.go.id)

Pendidikan:

- Master of Science (M.Sc) pada program studi Remote Sensing and GIS Applications, Program Master pada Space Technology and Applications di Internatinal School, Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA), PRC. 2010.
- Sarjana Kehutanan (S.Hut.) pada Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (IPB). 2000.

Yenni Vetrta telah bekerja sebagai peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 2005. Penelitian yang telah dilakukan antara lain adalah estimasi biomasa/stok karbon berdasarkan data penginderaan jauh, evaluasi produk *fire hotspot* untuk mitigasi bencana kebakaran hutan/lahan, dan degradasi hutan.

### Suwarsono, S.Si, M.Si.



Email : [suwarsono@lapan.go.id](mailto:suwarsono@lapan.go.id); [landsono@yahoo.com](mailto:landsono@yahoo.com)

Pendidikan:

- Magister Sains (M.Si.) pada program studi ilmu Geografi, Fakultas MAtematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia (UI), 2012
- Sarjana (S.Si.) Program Studi Geografi Fisik, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada (UGM). 2002.

Suwarsono telah bekerja sebagai peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 2003. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana alam yang merupakan integrasi dari berbagai disiplin ilmu, seperti cuaca dan iklim serta interaksinya dengan sumberdaya lahan (hutan dan perkebunan) dan potensinya terhadap kebencanaan (banjir, longsor, kekeringan, kebakaran hutan). Organisasi profesi yang diikuti adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN).

### Parwati Sofan, S.Si, M.Sc.



Email : [parwati@lapan.go.id](mailto:parwati@lapan.go.id)

Pendidikan:

- Master of Science (M.Sc) pada program studi Remote Sensing and GIS Applications, Program Master pada Space Technology and Applications di Internatinal School, Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA), PRC. 2008

- Sarjana Sains (S.Si.) pada program studi Agrometeorologi, Jurusan Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor (IPB). 1999

Parwati telah bekerja sebagai peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 2002. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana alam yang merupakan integrasi dari berbagai disiplin ilmu, seperti cuaca dan iklim serta interaksinya dengan sumberdaya lahan dan potensinya terhadap kebencanaan (banjir, kekeringan, kebakaran hutan, letusan gunung api). Organisasi profesi yang diikuti adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN) dan Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI).