

PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK MANAJEMEN SUMBER DAYA PERIKANAN BUDIDAYA DI INDONESIA

I Nyoman Radiarta^{*)}

^{*)} Pusat Riset Perikanan Budidaya

ABSTRAK

Perikanan budidaya telah memberikan kontribusi yang nyata bagi pembangunan di Indonesia. Perkembangan perikanan budidaya sering berefek pada pengrusakan lingkungan dan sumber daya alam di antaranya konversi lahan, pengrusakan ekosistem, dan konflik kepentingan. Oleh karena itu, untuk menjaga keberlanjutan usaha perikanan budidaya, perencanaan, dan pengelolannya harus dijalankan dengan baik dan tetap berpatokan pada kondisi dan kemampuan lingkungan yang ada. Penginderaan jauh (inderaja) dan sistem informasi geografis (SIG) dewasa ini telah banyak dimanfaatkan dan memberikan kontribusi nyata bagi pengelolaan sumber daya perikanan budidaya. Tujuan dari tulisan ini untuk memberikan gambaran mengenai aplikasi inderaja dan SIG bagi perencanaan dan pengelolaan sumber daya perikanan budidaya guna mendukung keberlanjutan usaha perikanan budidaya.

KATA KUNCI: perikanan budidaya, pengelolaan sumber daya, Inderaja, SIG

PENDAHULUAN

Indonesia yang memiliki garis pantai terpanjang nomor dua di dunia (setelah Canada) dengan berbagai jenis ekosistem perairan pantai yang ada (di antaranya: estuarin, mangrove, padang lamun, dan terumbu karang) serta beragam biota yang ada (dikenal dengan negara *mega biodiversity*) merupakan satu potensi yang sangat besar bagi pengembangan perikanan budidaya (budidaya air tawar, pantai, dan laut). Perikanan budidaya Indonesia menduduki posisi keempat sebagai penghasil produk perikanan budidaya terbesar di dunia, dengan total produksi tahun 2004 mencapai 1,045 juta ton (FAO, 2007). Perikanan budidaya juga memberikan kontribusi nyata pada GDP (*gross domestic production*) Indonesia sebesar 1,662% pada tahun 2001 (Sugiyama *et al.*, 2004). Dengan

kondisi tersebut tentunya produksi perikanan budidaya harus tetap dipertahankan atau bahkan ditingkatkan lagi dengan lebih memanfaatkan sumber daya dan teknologi yang ada.

Perkembangan kegiatan budidaya perikanan mempunyai efek yang sangat signifikan terhadap perubahan lingkungan dan sumber daya alam yang ada. Boyd (2003) mengemukakan masalah utama yang ditimbulkan oleh perikanan budidaya di antaranya: (1) pengrusakan mangrove, *wetland*, dan ekosistem sensitif lainnya; (2) konversi lahan pertanian ke perikanan tambak; (3) polusi air yang disebabkan oleh efek dari tambak udang; (4) penggunaan secara berlebihan obat-obatan, antibiotik, dan bahan kimia lainnya untuk mengatasi penyakit ikan; dan (5) konflik pemanfaatan lahan serta usaha yang mengganggu masyarakat sekitar. Efek yang ditimbulkan oleh kegiatan budidaya perikanan tentunya dapat diminimalkan melalui perencanaan dan pengelolaan yang baik yang disesuaikan dengan kondisi dan kapasitas lingkungan (GESAMP, 2001).

Dewasa ini, dengan ketersediaan data penginderaan jauh (inderaja) dapat membantu untuk menggambarkan dan mengerti kondisi sumber daya alam dan kegiatan manusia. Bersamaan dengan perkembangan ketersediaan data dan informasi tersebut, sistem informasi geografis (SIG) telah meningkatkan kemampuan untuk menyimpan, menganalisis, dan menampilkan data dan informasi yang tersedia. Pemanfaatan inderaja dan SIG telah berkontribusi nyata bagi perkembangan perikanan budidaya (Meaden & Kapetsky, 1991). Di bidang perikanan budidaya, aplikasi kedua teknologi ini dapat ditemukan mulai dari tahapan perencanaan, pengelolaan, dan pemantauan.

Tulisan ini bertujuan untuk mengulas tentang bagaimana satelit inderaja dan SIG dapat digunakan dan berkontribusi bagi penelitian di bidang sumber daya perikanan budidaya, sehingga nantinya berefek pada pengelolaan sumber daya alam yang manusiawi demi keberlanjutan usaha perikanan budidaya secara berkesinambungan. Terminologi tentang inderaja dan SIG

akan dibahas terlebih dahulu secara berturut-turut, diikuti contoh aplikasinya untuk masing-masing bidang penelitian (pemetaan perubahan lahan, pemetaan lingkungan, dan pemetaan kelayakan lahan).

PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Inderaja merupakan sumber data bagi SIG, hal ini dikarenakan masih kurang ketersediaannya data dan informasi penting dalam bentuk peta (baik *hard copy* maupun digital format) yang diperlukan untuk analisis sumber daya perikanan budidaya. Terdapat beberapa keunggulan inderaja sebagai sumber data SIG (Johnson, 1998), di antaranya: (1) data yang dihasilkan sudah dalam format digital, (2) dapat memantau suatu daerah kajian secara berulang-ulang, (3) dapat mencakup lokasi kajian yang luas, dan (4) analisis inderaja bisa menghasilkan berbagai jenis data bermanfaat yang sulit diperoleh dengan menggunakan data lapangan. Integrasi data inderaja dan SIG berkontribusi sangat penting dalam kegiatan perikanan budidaya melalui penyediaan berbagai jenis data di antaranya data tutupan (penggunaan) lahan, kualitas perairan, dan infrastruktur perikanan. Dengan memanfaatkan kedua teknologi ini, kegiatan perikanan budidaya diharapkan dapat berjalan dengan baik dan berkelanjutan. Sebagai contoh, kegiatan perikanan budidaya tambak udang dapat beroperasi secara berkelanjutan melalui tahapan pemilihan lokasi sesuai dengan kondisi lingkungan, sosial, dan infrastruktur, serta memperhatikan efek pengembangannya terhadap penggunaan lahan lainnya seperti pertanian, industri, kawasan lindung, dan pemukiman.

SATELIT INDERAJA

Pada bagian ini akan diulas secara umum mengenai inderaja. Untuk penjelasan yang lebih detail, pembaca bisa mengacu pada beberapa sumber bacaan tentang inderaja (Richards, 1994; Cambel, 1996; Jensen, 1996; Lillesand & Kiefer, 2000). Inderaja secara umum didefinisikan sebagai teknik untuk mengumpulkan data dan informasi dari suatu objek atau fenomena, yang pengukurannya dilakukan dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek atau fenomena yang dikaji. Alat yang digunakan untuk pengukuran tersebut dikenal dengan istilah sensor. Sedangkan data yang didapat dari hasil perekaman kenampakan di bumi disebut dengan citra.

Telah tersedia berbagai jenis satelit inderaja yang mengorbit di angkasa dan digunakan untuk memantau permukaan bumi sehingga dapat memberikan data dan informasi mengenai kondisi permukaan bumi secara berulang dan terkini (*near real time*). Berdasarkan sensor

yang digunakan, inderaja terbagi atas dua macam yaitu pasif sensor dan aktif sensor. Pasif sensor lebih umum dimanfaatkan yang menggunakan sumber energi (*elektromagnetik*) dari alam (sinar matahari) untuk mendeteksi permukaan bumi. Sedangkan aktif sensor, contohnya radar, menghasilkan energi sendiri untuk mendeteksi suatu objek atau fenomena alam. Berbagai jenis data inderaja yang sering digunakan untuk kajian sumber daya perikanan budidaya disajikan pada Tabel 1.

Analisis Data Inderaja

Untuk memperoleh data dan informasi yang bermanfaat dari inderaja ada beberapa tahapan yang harus dilakukan (Jensen, 1996) (Gambar 1), di antaranya: penentuan topik kajian, pengumpulan data, analisis data, dan keluaran (hasil analisis) sehingga dapat digunakan untuk pengambilan keputusan.

Pemilihan data inderaja (Tabel 1) harus disesuaikan dengan topik kajian yang akan dilaksanakan yang berhubungan erat dengan pengumpulan data lapangan. Data lapangan yang dikumpulkan secara benar dengan menggunakan peralatan standar sesuai dengan kebutuhan riset akan digunakan untuk mengkalibrasi data inderaja dan untuk verifikasi hasil akhir analisis inderaja (*accuracy assessment*). Selain data lapangan, data sekunder juga bisa digunakan untuk menganalisis data inderaja. Data sekunder tersebut, idealnya sudah dalam bentuk SIG.

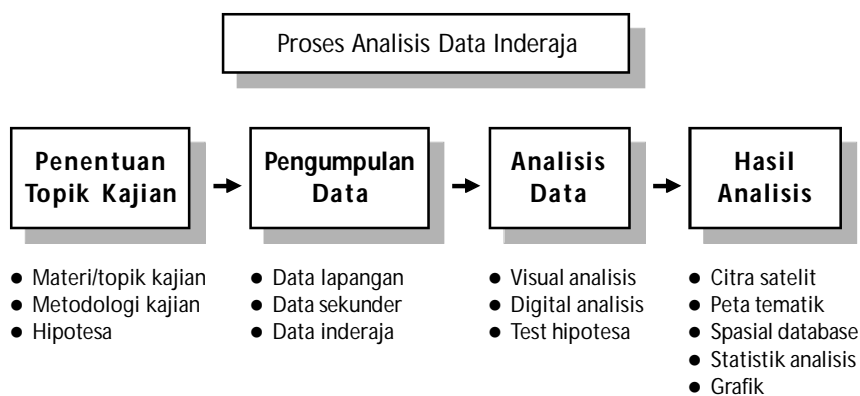
Analisis data inderaja dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam teknik meliputi visual (analog) dan digital analisis. Analisis data inderaja secara digital meliputi manipulasi dan interpretasi dari citra digital dengan bantuan perangkat komputer. Lillesand & Kiefer (2000) mengemukakan beberapa tahapan untuk analisis data inderaja secara digital meliputi:

- a) Koreksi dan pembetulan citra (*image rectification and restoration*). Tahapan ini dilakukan guna memperoleh citra yang sesuai dengan tampilan di bumi, yang meliputi koreksi secara geometrik dan radiometrik. Koreksi geometrik dapat dilakukan dengan menggunakan titik kontrol (*GCPs, ground control points*) yang dikumpulkan selama survei lapangan dan tersebar secara merata di lokasi penelitian, sehingga citra satelit akan memiliki sistem koordinat yang sama dengan sistem koordinat di bumi. Sedangkan koreksi radiometrik berguna untuk menghilangkan efek dari atmosfer, perubahan pencahayaan, perubahan sensor, ataupun efek dari musim yang berbeda terhadap pantulan yang diterima. Koreksi atau pembetulan citra satelit sering dikenal dengan tahapan awal analisis (*image preprocessing*).

Tabel 1. Satelit inderaja yang umum digunakan untuk analisis sumber daya perikanan budidaya

Satelit/sensor	Waktu pengambilan data (hari)	Resolusi spasial
<i>Resolusi rendah</i>		
AVHRR-NOAA	0,5	1,1 km
SeaWiFS	1	1,1 km
MODIS	1	250 m; 500 m; dan 1,1 km
<i>Resolusi sedang</i>		
Landsat		
- MSS	16	80 m
- TM	16	30 m; 120 m (thermal band)
- ETM+	16	30 m (multispectral) 60 m (thermal band) 15 m (panchromatic)
SPOT	26	20 m (multispectral) 10 m (panchromatic)
IRS		
- IRS-1A (LISS-I)	22	72,5 m
- IRS-1B (LISS-II)	22	36,25 m
- IRS-1C and 1D (LISS-III)	24	23,5 m
<i>Resolusi tinggi</i>		
ALOS	46	10 m (AVNIR-2); 2,5 m (PRISM)
IKONOS	3-5	4 m (multispectral) 1 m (panchromatic)
Quickbird	1-3,5	2,4 m (multispectral) 0,6 m (panchromatic)
<i>Aktif sensor</i>		
Radarsat (SAR)	3	25 m

AVHRR-NOAA: Advance Very High Resolution Radiometer-National Oceanic and Atmospheric Administration; SeaWiFS: Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor; MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; Landsat: Land satellite; MSS: Multi Spectral Scanner; TM: Thematic Mapper; ETM+: Enhanced Thematic Mapper plus; SPOT: Systeme Pour l'Observation de la Terre; IRS: Indian Remote Sensing Satellite; ALOS: Advanced Land Observing Satellite; AVNIR: Advanced Visible and Near Infrared Radiometer; PRISM: Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping; SAR: Synthetic Aperture Radar



Gambar 1. Tahapan umum yang dilakukan untuk memperoleh informasi dari data inderaja

- b) Penajaman citra satelit (*image enhancement*). Langkah ini dilakukan untuk memperoleh tampilan/gambaran citra satelit yang lebih baik melalui perbedaan yang nyata dari berbagai tampilan di citra. Terdapat tiga kategori umum untuk penajaman citra satelit yaitu manipulasi kontras citra satelit (meliputi: *grey level thresholding*, *level slicing*, dan *contrast stretching*), manipulasi dengan spatial karakter (meliputi: *spatial filtering* dan *edge enhancement*), dan manipulasi dengan multi-citra (meliputi: penggabungan citra resolusi rendah dengan resolusi tinggi (*image fusion*)).
- c) Klasifikasi citra satelit (*image classification*). Tahapan ini ditujukan untuk memperoleh data dan informasi dari suatu citra satelit, sebagai contoh data mengenai tutupan lahan dari suatu lokasi penelitian. Ada dua teknik klasifikasi citra satelit yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tak terbimbing (*unsupervised classification*). Secara sederhana perbedaan kedua teknik klasifikasi ini adalah klasifikasi terbimbing memerlukan bantuan operator untuk melakukan pengklasifikasian citra, sedangkan klasifikasi tak terbimbing tidak memerlukan bantuan operator.

Hasil dari klasifikasi citra satelit kemudian diverifikasi menggunakan data lapangan yang dikumpulkan dengan GPS (*global positioning system*) (Gambar 2) dengan tujuan untuk menghitung keakuratan hasil klasifikasi. Luaran akhir dari analisis citra satelit bisa berbentuk peta tematik, peta citra satelit, ataupun *spatial database*. Seluruh hasil analisis tersebut nantinya dapat diintegrasikan dengan SIG untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 2. Contoh GPS yang dapat digunakan untuk kelengkapan survai sumber daya perikanan budidaya

Ketersediaan Data Inderaja

Di Indonesia, penyediaan data inderaja di bawah wewenang Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN). Lembaga ini telah menyediakan data inderaja dari berbagai jenis satelit/sensor meliputi: AVHRR-NOAA, MODIS (Aqua dan Terra), SPOT, Landsat (MSS, TM, dan ETM+), ASTER, dan ALOS data. Selain LAPAN, Departemen Kelautan dan Perikanan melalui SEACORM (*South East Asia Center for Ocean Research and Monitoring*)-BROK (Balai Riset dan Observasi Kelautan), Badan Riset Kelautan dan Perikanan telah dapat menyediakan data inderaja dengan resolusi rendah di antaranya NOAA-AVHRR dan SeaWiFS. Kedua data tersebut dapat dimanfaatkan untuk kajian sumber daya perikanan budi-

daya dengan cakupan lokasi penelitian yang luas (contoh: Teluk Tomini). Selain instansi pemerintah, beberapa lembaga swasta juga dapat menyediakan data inderaja misalnya BTIC-Biotrop. Lembaga ini dapat menyediakan data Landsat, SPOT, dan IKONOS.

Terlepas dari ketersediaan data dari beberapa instansi tersebut, data inderaja tersedia pula secara *online* dan dapat diperoleh secara gratis. Umumnya data yang dapat di-*download* adalah data yang lama ataupun memiliki resolusi rendah (Tabel 2).

Perangkat Lunak Analisis Data Inderaja

Dewasa ini, perangkat lunak untuk analisis data inderaja telah banyak tersedia di pasaran baik yang sifatnya komersial maupun gratis (*freeware*). Tabel 3 menyajikan berbagai jenis perangkat lunak yang umum digunakan untuk analisis data inderaja. Setiap perangkat lunak memiliki keunggulan dan kekurangannya dalam optimalisasi analisis data inderaja. Namun apapun jenis perangkat lunak yang digunakan umumnya memiliki fasilitas dasar yang serupa bagi pengolahan citra satelit.

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Bagian ini akan mengulas secara umum tentang SIG. Penjelasan yang lebih detail bisa mengacu pada beberapa literatur tentang SIG (Star & Estes, 1990; Burrough & McDonnell, 1998; DeMers, 1999). SIG dapat diartikan

Tabel 2. Data inderaja yang bisa diperoleh secara gratis untuk kajian sumber daya perikanan budidaya

Satelit/sensor	Nama website	Alamat website
SeaWiFS	Ocean color website	http://seadas.gsfc.nasa.gov/
MODIS	Ocean color website	http://seadas.gsfc.nasa.gov/
OCTS	Ocean color website	http://seadas.gsfc.nasa.gov/
CZCS	Ocean color website	http://seadas.gsfc.nasa.gov/
NOAA	Physical Oceanography - Distribution Active Archive Centre	http://podaac.jpl.nasa.gov/
Landsat	Global land cover facilities	http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml

OCTS: *Ocean Colour and Temperature Scanner*; CZCS: *Coastal Zone Color Scanner*

Tabel 3. Jenis perangkat lunak untuk analisis data inderaja

Jenis perangkat lunak	Kriteria	Website
ERDAS Imagine	Komersial	http://gi.leica-geosystems.com/default.aspx
ER-Mapper	Komersial	http://www.ermapper.com/
ENVI	Komersial	http://www.itvis.com/envi/
SPRING	Gratis	http://www.dpi.inpe.br/spring/english/index.html
ILWIS	Gratis	http://www.itc.nl/ilwis/
IDRISI	Komersial	http://www.clarklabs.org/

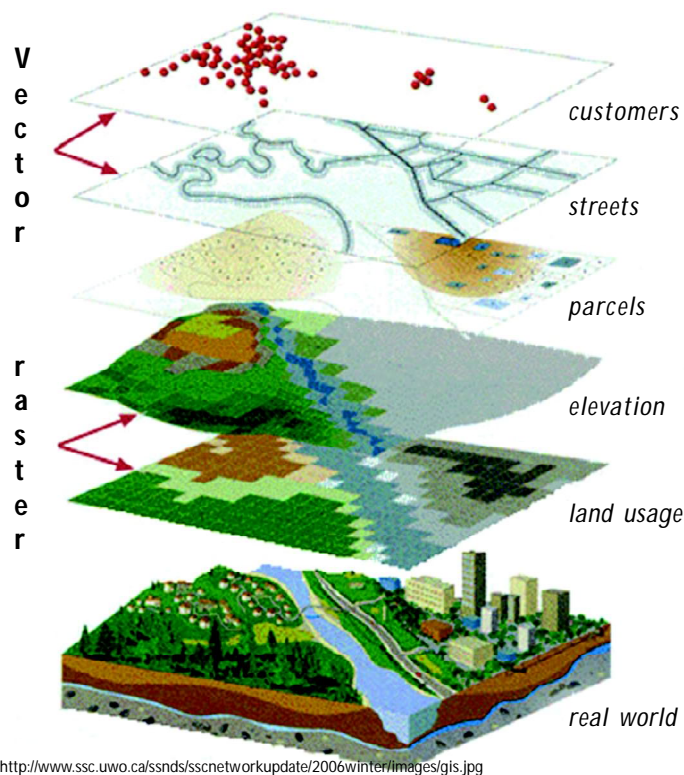
sebagai seperangkat sistem yang berfungsi untuk mengumpulkan, menyimpan, memanggil, menganalisis/manipulasi, dan menyajikan data spasial yang berasal dari bumi (*geo-referensi*) untuk mencapai suatu tujuan tertentu. Burrough & McDonnell (1998) mengemukakan bahwa terdapat tiga komponen utama SIG yang harus dijalankan secara seimbang, meliputi: komputer sistem (perangkat keras, perangkat lunak, dan prosedur), basis data, dan organisasi/pelaksana. Informasi tentang terminologi SIG secara lengkap dapat dilihat pada *website* yang disusun oleh *Association for Geographic Information* dan *the University of Edinburgh Department of Geography* di <http://www.geo.ed.ac.uk/agidict/welcome.html>.

Terdapat dua jenis format data yang dapat diintegrasikan kedalam SIG yaitu vektor (terdiri atas titik, garis, dan area) dan raster (Gambar 3). Kedua jenis format

data ini berbeda secara spasial meliputi tampilan dan penyimpanannya. Di kedua format data ini, geografik koordinat sistem digunakan untuk menggambarkan suatu lokasi. Penjelasan lebih rinci tentang kedua format data ini dapat merujuk pada Nath *et al.* (2000). Tabel 4 menyajikan tipe data yang dapat diintegrasikan kedalam SIG beserta contoh datanya.

Analisis SIG

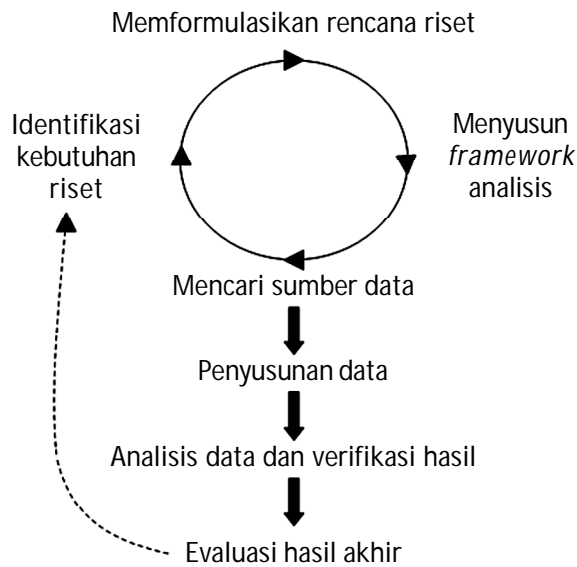
Pada dasarnya setiap penelitian menggunakan SIG akan terdiri atas tujuh tahapan yaitu (Nath *et al.*, 2000; Anguilar-Manjarrez, 2006) (Gambar 4): identifikasi keperluan penelitian, memformulasikan rencana, membuat *framework* analisis, mencari sumber data, menyusun dan memanipulasi data sebagai data input, analisis data dan verifikasi keluaran, dan evaluasi hasil akhir.



Gambar 3. Berbagai jenis SIG data

Tabel 4. Jenis SIG data dan contoh aplikasinya

Format data	Contoh aplikasinya
Vector-titik	Titik pengamatan kualitas perairan (suhu, salinitas, pH, DO, dsb.)
Vector-garis	Garis pantai, kedalaman perairan, jalur transportasi
Vector-area	Ekosistem perairan (mangrove, terumbu karang, dan lamun)
Raster-pixel	Citra satelit (Landsat, SPOT, dsb.)
Raster-voxel	Data CTD, hydroacoustic



Gambar 4. Tahapan analisis untuk penelitian yang menggunakan SIG

Ketersediaan SIG Data

Data yang dapat digunakan untuk analisis SIG bisa dikumpulkan dari berbagai macam sumber meliputi: (a) data primer (data yang diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan), (b) data sekunder (hasil analisis data primer dan diperoleh sumber data lain), (c) proxy data (data yang diperoleh dari hasil analisis data lainnya namun masih terdapat keterikatan antar data tersebut), dan (d) citra satelit.

Di Indonesia, data dengan format SIG dapat ditemukan di berbagai instansi baik pemerintah maupun swasta. Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal) merupakan instansi yang berwenang dalam pemetaan lahan nasional di Indonesia. Berbagai jenis data peta (digital dan *hardcopy*) dengan berbagai skala telah dikeluarkan oleh lembaga ini di antaranya: peta rupabumi/

topography, peta lingkungan laut nasional (LLN), peta lingkungan pantai Indonesia (LPI), dan Atlas. Dinas Hidro Oseanografi TNI-AL juga melakukan pemetaan skala nasional namun lebih difokuskan untuk lautan (sebagai contoh peta batimetri, pasang surut, arus, kedalaman, dan alur pelayaran). Selain kedua instansi tersebut, beberapa instansi pemerintah lainnya juga memiliki SIG data yang dapat dimanfaatkan untuk kajian sumber daya perikanan budidaya meliputi Kementerian Prasarana Wilayah (KIMPRASWIL) menghasilkan data jenis dan pemanfaatan lahan, Badan Perencanaan Dampak Lingkungan (Bapedal)-MENLH menghasilkan data kondisi lingkungan dan ekosistem perairan, Ditjen P3K-DKP berhubungan dengan penataan ruang wilayah pesisir yang didukung oleh kegiatan MCRMP (*Marine Coastal Resources Management Project*) dan COREMAP (*Coral Reef Management Project*), Puslittanak-DEPTAN menghasilkan data peta jenis tanah, dan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) yang berhubungan dengan data cuaca dan klimatologi, serta data spasial yang dihasilkan oleh berbagai pusat riset di bawah Badan Riset Kelautan dan Perikanan-DKP.

Selain data yang dapat diperoleh dari berbagai instansi di Indonesia, data SIG untuk kajian sumber daya perikanan budidaya secara global banyak tersedia secara *online* dan dapat di-*download* secara gratis. Tabel 5 menyajikan jenis dan sumber data yang dapat digunakan untuk kajian sumber daya perikanan budidaya.

Perangkat Lunak SIG

Ketersediaan perangkat lunak untuk SIG sangat beragam di pasaran baik yang komersial, *open source*, maupun yang bisa diperoleh secara gratis. Tabel 6 menyajikan beberapa jenis perangkat lunak yang dapat digunakan untuk analisis data bagi perikanan budidaya. Jenis-jenis perangkat lunak secara detail dapat dilihat di http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_GIS_software.

Tabel 5. Organisasi penghasil SIG data melalui internet yang dapat digunakan untuk kajian perikanan budidaya

Organisasi/lembaga (<i>website</i>)	Data dan informasi	Resolusi
The CGIAR Consortium of Spatial Information (http://srtm.csi.cgiar.org/)	Elevasi	90 m
National Geophysical Data Center (http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/shorelines.html)	Garis pantai	1 km
National Geophysical Data Center (http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html)	Batimetri dan elevasi	2 menit
Pacific Fisheries Environmental Laboratory (http://las.pfe.noaa.gov/)	Meteorologi	0,25° dan 1°
National Oceanographic Data Center (http://www.nodc.noaa.gov/)	Oceanografi	

Tabel 6. Jenis perangkat lunak untuk analisis SIG

Jenis perangkat lunak	Kriteria	Website
ArcGIS (ArcView dan ArcInfo)	Komersial	www.esri.com
MapInfo	Komersial	www.mapinfo.com/mipro
Grass	Gratis	www.geog.uni-hannover.de/grass/index.php
ERDAS Imagine	Komersial	www.erdas.com
IDRISI	Komersial	www.clarklabs.org
SPRING	Gratis	www.dpi.inpe.br/spring/english/index.html
ILWIS	Gratis	http://www.itc.nl/ilwis/

lingkungan budidaya, dan pemetaan kelayakan lahan untuk budidaya perikanan.

Pemetaan Perubahan Lahan

Pemetaan lahan yang berhubungan dengan pemanfaatan dan konversi lahan untuk kegiatan budidaya perikanan telah banyak dipublikasikan. Radiarta *et al.*

CONTOH APLIKASI INDERAJA DAN SIG UNTUK BUDIDAYA PERIKANAN

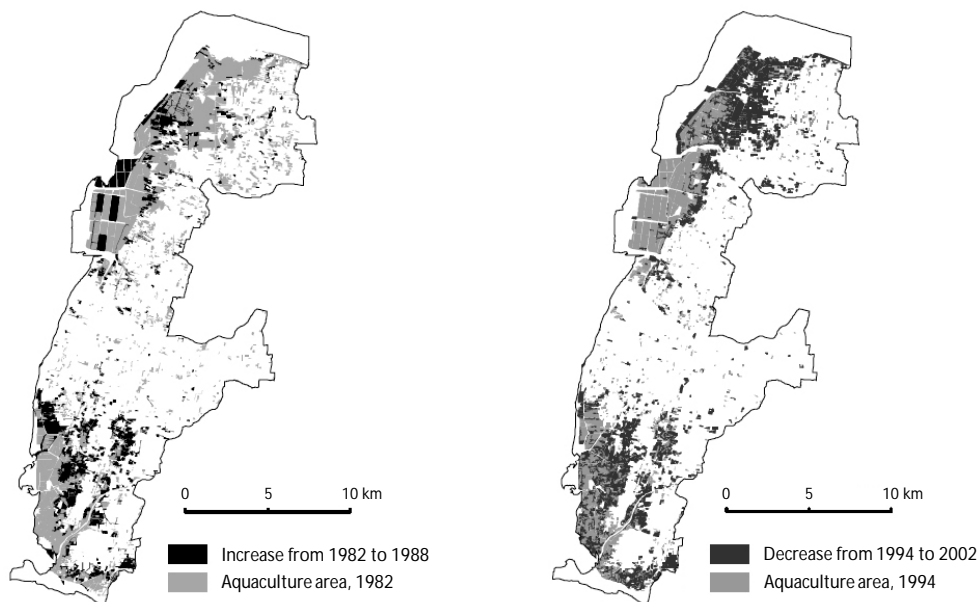
Pemanfaatan inderaja dan SIG di bidang perikanan budidaya secara global telah didokumentasikan di beberapa literatur (Meaden & Kapetsky, 1991; Nath *et al.*, 2000; Kapetsky & Anguilar-Manjarrez, 2007). Informasi yang menyajikan aplikasi inderaja dan SIG di bidang perikanan budidaya secara lengkap dan terorganisir dengan baik dapat dilihat pada GISFish website yang dikelola oleh FAO bagian perikanan dan budidaya di <http://www.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=topic&fid=16005>. Di Indonesia, kegiatan riset yang memanfaatkan inderaja dan SIG belum banyak yang terpublikasi (contohnya: Tien songrussmee *et al.*, 1988; Populus *et al.*, 1995; Radiarta *et al.*, 2003; 2004; 2006a; 2006b; 2007). Secara umum aplikasi inderaja dan SIG di bidang sumber daya perikanan budidaya dapat dikelompokkan atas tiga kelompok yaitu: pemetaan perubahan lahan, pemantauan

(2007) menggunakan data Landsat untuk menganalisis perubahan luasan lahan tambak di Karawang, Pantai Utara Jawa, Indonesia. Mereka menemukan perubahan lahan tambak yang cukup besar mencapai 8,022 ha selama selang waktu 1989-2004.

Beberapa literatur yang mengulas tentang pemanfaatan data inderaja dan SIG untuk pemetaan perubahan lahan yang lebih komprehensif disajikan pada Tabel 7.

Pemantauan Lingkungan

Sangat banyak topik riset yang tersedia dalam kaitannya dengan pemanfaatan data inderaja dan SIG untuk pemantauan lingkungan. Namun pada bagian ini penulis hanya akan membahas tentang monitoring kualitas perairan untuk mendukung perikanan budidaya. Parameter kualitas perairan umumnya digunakan sebagai satu acuan untuk menentukan lokasi kelayakan bagi pengembangan budidaya perikanan. Sebagai contoh,



Gambar 5. Perubahan (peningkatan dan pengurangan) luasan area kegiatan budidaya perikanan: studi kasus di Yunlin County, Taiwan (Tsai *et al.*, 2006)

Tabel 7. Pemetaan perubahan lahan untuk perikanan budidaya

Lokasi studi	Inderaja	SIG	Penulis
Sinaloa, Mexico	Landsat	IDRISI	Alonso-Perez <i>et al.</i> (2003)
Lingayen Gulf, Philipina	Radar	ArcView	Travaglia <i>et al.</i> (2004)
Waduk Cirata	Landsat	ArcView	Radiarta <i>et al.</i> (2005)
Yulin County, Taiwan	ASTER	ArcGIS	Tsai <i>et al.</i> (2006)
Godavari, India	Landsat dan IRS	ERDAS	Ramasubramanian <i>et al.</i> (2006)
Kolleru Lake, India	IRS	ArcGIS	Jayanthi <i>et al.</i> (2006)
Tra Vinh, Vietnam	SPOT	ArcView dan ENVI	Thu & Populus (2007)

Giardino *et al.* (2001) memetakan parameter lingkungan yang meliputi: chlorophyll a dan kecerahan perairan dengan menggunakan data Landsat 7 di sub alpine lake, Italy (Gambar 6).

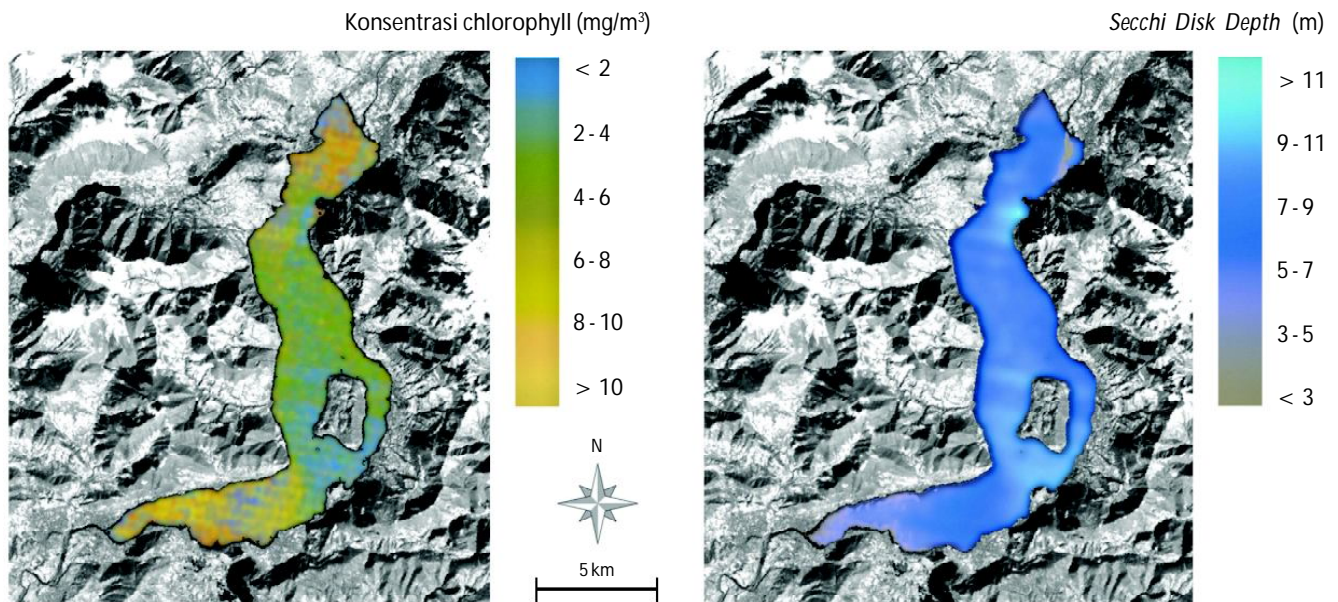
Di Indonesia, pengamatan kualitas perairan untuk kegiatan budidaya perikanan masih mengandalkan pada pengumpulan data lapangan dan sedikit sekali yang telah mengaplikasikan inderaja dalam pemantauannya. Sebagai contoh, Trisakti *et al.* (2005) memanfaatkan data MODIS untuk memetakan TSM (*Total Suspended Matter*) di perairan Cirebon dan Brebes, Pantai Utara Jawa yang berdekatan dengan adanya perikanan tambak. Parameter lainnya yang dapat dimonitor dengan menggunakan data inderaja telah banyak dipublikasikan di antaranya disajikan pada Tabel 8.

Pemetaan Kelayakan Lahan

Semenjak riset yang dilakukan oleh Kapetsky *et al.* (1987), pemanfaatan inderaja dan SIG untuk pemetaan

kelayakan lahan perikanan budidaya mengalami perkembangan yang cukup pesat. Satu literatur yang sangat baik mengenai pemanfaatan inderaja dan SIG untuk kajian kelayakan lahan khususnya budidaya laut disajikan dalam Kapetsky & Anguilar-Manjarrez (2007). Dalam bukunya ini, mereka mengulas perkembangan aplikasi inderaja dan SIG di sektor budidaya laut, serta pemanfaatan *decision support tools* (multi kriteria analisis) dalam integrasinya dengan SIG.

Sebagai contoh, Giap *et al.* (2005) melakukan kajian kelayakan lahan untuk budidaya tambak udang di Haipong, Vietnam. Mereka menggunakan 13 parameter yang dikelompokkan kedalam empat kategori yaitu: potensial konstruksi tambak, kualitas tanah, ketersediaan air, dan infrastruktur dan sosial ekonomi. Dengan menggunakan model yang dibangun di dalam SIG, mereka mengidentifikasi sekitar 31% (2.604 ha) dari total luasan area analisis (8.281 ha) termasuk dalam kategori sangat sesuai bagi kegiatan budidaya tambak udang (Gambar 7).

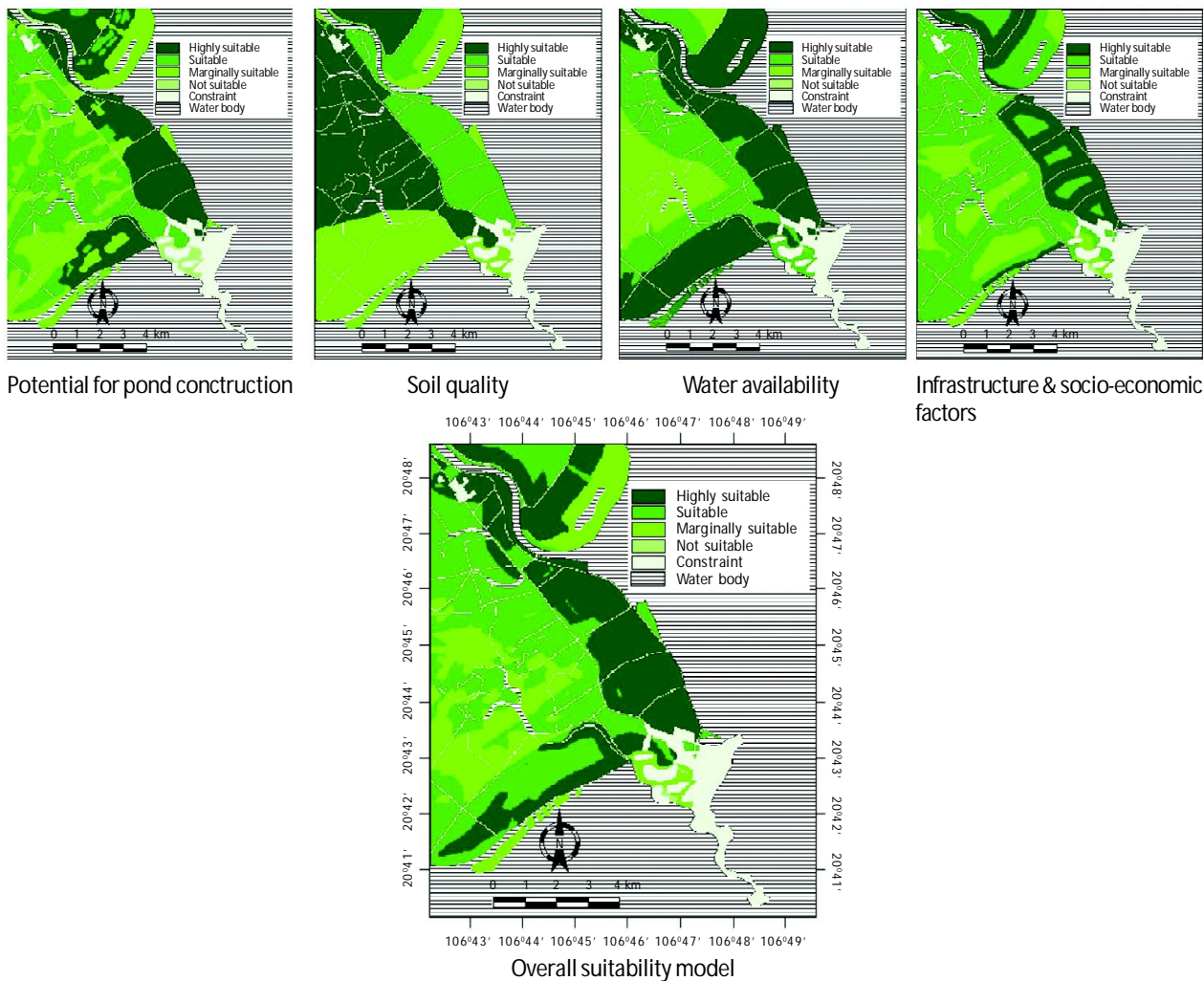


Gambar 6. Peta konsentrasi chlorophyll a dan kecerahan perairan yang diperoleh dari citra satelit Landsat 7 (Giardino *et al.*, 2001)

Tabel 8. Pemantauan kualitas perairan dengan aplikasi inderaja dan SIG

Lokasi	Inderaja	Parameter	Penulis
Lake Iseo, Italy	TM	Chl, SDT, Temperature	Giardino <i>et al.</i> (2001)
City of Eagan, Minnsota	IKONOS	SDT	Sawaya <i>et al.</i> (2003)
Michigan Island Lake	ETM +	Chl-a, SDT	Fuller <i>et al.</i> (2004)
Pearl river estuary, Hong Kong	TM	Turbidity; TSS; Chl-a	Chen <i>et al.</i> (2004)
New York harbour	TM, MODIS	SCD, Chl-a	Hellweger <i>et al.</i> (2004)
Ibera wetland, Argentina	TM, EMT+	SDT, Turbidity	Chozar <i>et al.</i> (2005)

Chl: Chlorophyll; TP: Total Phosphorus; SDT: Secchi Disk Transparency; TSS: Total Suspended Solid



Gambar 7. Tingkat kesesuaian lahan untuk budidaya tambak udang di Haipong, Vietnam (Giap *et al.*, 2005)

Di Indonesia, kajian kelayakan lahan perikanan budidaya khususnya budidaya laut telah dilakukan untuk beberapa lokasi baik di bagian barat maupun bagian timur Indonesia. Umumnya kegiatan ini dilakukan bekerjasama antara instansi riset dengan pemerintah daerah (pemda). Sehingga hasil analisis nantinya dapat langsung dimanfaatkan oleh pemda setempat. Wilayah perairan Indonesia yang telah dilakukan pemetaan kelayakan lahan

di antaranya Teluk Ekas-Lombok, Teluk Saleh-Sumbawa, Perairan Kecamatan Moro, dan Teluk Kapantori-Sulawesi Tenggara (Radiarta *et al.*, 2003; 2004; 2006a; 2006b).

Kajian kelayakan lahan yang lebih komprehensif dengan melibatkan berbagai faktor dalam analisisnya (lingkungan, sosial ekonomi, infrastruktur, dan kelembagaan) untuk berbagai jenis biota budidaya disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Aplikasi inderaja dan SIG untuk pemetaan kelayakan lahan budidaya perikanan

Budi daya	Lokasi	Inderaja	SIG	Penulis
Hardclam	Florida		ArcView	Arnold <i>et al.</i> (2000)
Kepiting dan udang	Bangladesh	Landsat	IDRISI	Salam <i>et al.</i> (2003)
Tambak udang	Haipong, Vietnam	SPOT	ArcView	Giap <i>et al.</i> (2005)
KJA	Tenerife, Canary Island	NOAA	ArcViewew	Perez <i>et al.</i> (2005)
Budidaya air tawar	Bangladesh		IDRISI	Salam <i>et al.</i> (2005)
Oyster	Venezuela		MapInfo	Buitrago <i>et al.</i> (2005)
Kekerangan	Canada	Aerial photograp	ArcView	Carswell <i>et al.</i> (2006)

KESIMPULAN

Kemajuan teknologi inderaja dan SIG telah memberikan pandangan baru dan memunculkan berbagai macam tantangan riset dalam implementasinya bagi perikanan budidaya. Dengan semakin banyak tersedianya pilihan data inderaja mulai dari data beresolusi rendah sampai resolusi tinggi, serta ketersediaan berbagai jenis data spasial di beberapa instansi pemerintah dan swasta di Indonesia serta data yang sifatnya global yang dapat diperoleh/tersedia secara bebas melalui internet, memungkinkan analisis sumber daya perikanan budidaya dapat dilakukan secara holistik dan global. Pemilihan data inderaja dan berbagai jenis data spatial yang ada harus disesuaikan dengan tujuan riset yang akan dilakukan sehingga akan memberikan keluaran yang baik untuk mendukung pengambilan keputusan yang benar demi keberlanjutan usaha perikanan budidaya yang berkesinambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso-Perez, F., A. Ruiz-Luna, J. Turner, A.A. Berlanga-Robles, and G. Mitchelson-Jacob. 2003. Land cover change and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaola, Mexico. *Ocean and Coastal Management*. 46: 583--600.
- Anguilar-Manjarrez, J., 2006. Use of geographic informations system (GIS) for planning and management of aquaculture. Didownload dari http://www.iirr.org/0aquatic_resources/p2c08.htm, tgl 20 Desember 2006.
- Arnold, W.S., W. White, H.A. Norris, and M.E. Berrigan. 2000. Hard clam (*Mercenaria* spp.) aquaculture in Florida, U.S.A.: geographic information system applications to lease site selection, *Aquacult. Eng.* 23: 203—231.
- Buitrago, J., M. Rada, H. Hernandez, and E. Buitrago. 2005. A single-use site selection technique, using GIS, for aquaculture planning: choosing locations for mangrove oyster raft culture in Margarita Island, Venezuela. *Environmental Management*. 35: 544--556.
- Burrough, P.A. and R.A. McDonnell. 1998. *Principle Geographical Information Systems*. Oxford University Press. 333 pp.
- Boyd, C.E. 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm level. *Aquaculture*. 226: 101--112.
- Cambel, J.B. 1996. *Introduction to Remote Sensing: Second Edition*. The Guilford Press. New York. 607 pp.
- Carswell, B., S. Cheesman, and J. Anderson. 2006. The use of spatial analysis for environmental assessment of shellfish aquaculture in Baynes Sound, Vancouver Island, Britih Columbia, Canada. *Aquaculture*. 253: 408--414.
- Chen, X., Y.S. Li, Z. Liu, K. Yin, Z. Li, O.W.H. Wai, and B. King. 2004. Integration of multi-sources data for water quality classification in the Pearl River estuary and its adjacent coastal waters of Hong Kong. *Continental Shelf Research*. 24: 1,827--1,843.
- Chozar, A., C.M. Garcia, J.A. Galvez, S.A. Loiselle, L. Bracchini, and A. Cognetta. 2005. Remote sensing imagery analysis of the lacustrine system of Ibera wetland (Argentina). *Ecological Modelling*. 186: 29--41.
- DeMers, M.N. 1999. *Fundamentals of Geographic Information System*. Second Edition. New Mexico State University. John Wiley & Sons, Inc. 498 pp.
- FAO. 2007. *The state of world fisheries and aquaculture 2006*. FAO Fisheries and Aquaculture Departement, Rome. 162 pp.
- Fuller, L.M., S.S. Aichele, and R.J. Minnerick. 2004. Predicting water quality by relating secchi-disk transparency and chlorophyll a measurements to satellite imagery for Michigan inland lakes. August 2002:US Geological Survey Scientific Investigations Report 2004-5086. 25 pp.

- GESAMP. 2001. GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint group of experts on the scientific aspects of marine environmental Protection), Planning and management for sustainable coastal aquaculture development. Rep.Stud.GESAMP, 68: 90 pp.
- Giap, D.H., Y. Yi, and A. Yakupitiyage. 2005. GIS for land evaluation for shrimp farming in Haiphong of Vietnam. *Ocean & Coastal Management*. 48: 51--63.
- Giardino, C., M. Pepe, P.A. Brivio, P. Ghezzi, and E. Zilioli. 2001. Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery, *The Science of the Total Environment*. 268: 19--29.
- Hellweger, F.L., P. Schlosser, U. Lall, and J.K. Weisell. 2004. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 61: 437--448.
- Jayanthi, M., P. N. Rekha, N. Kavitha, and P. Ravichandran. 2006. Assessment of impact of aquaculture on Kolleru Lake (India) using remote sensing and geographical information system. *Aquaculture Research*. 37: 1,617--1,626.
- Jensen, J.R. 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall Series. 318 pp.
- Johnson, C.A. 1998. *Geographic information systems in ecology*. Blackwell Science, USA. 239 pp.
- Kapetsky, J.M., L. McGregor, and H. Nanne. 1987, A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development: A FAO-UNEP/GRID Cooperative Study in Costa Rica. FAO Fish. Tech. Pap. 287: 51 pp.
- Kapetsky, J.M. and J. Anguilar-Manjarrez. 2007. Geographic information systems, remote sensing and mapping for the development and management of marine aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper No. 458. Rome, FAO. 125 pp.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Fourth Edition. John Wiley & Son, New York, USA. 736 pp.
- Meaden, G. and J.M. Kapetsky. 1991. *Geografis Information System and Remote Sensing in Inland Fisheries and Aquaculture*. FAO Fisheries Technical Paper No. 38, Rome, FAO. 262 pp.
- Nath, S.S., J.P. Bolte, L.G. Ross, and J. Anguilar-Manjarrez. 2000. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquacultural Engineering*. 23: 233--278.
- Pérez, O.M., T.C. Telfer, and L.G. Ross. 2005. Geographical information system-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research*. 36: 946--961.
- Populus, J., W. Hastuti, J.L.M. Martin, O. Guelorget, B. Sumartono, and A. Wibowo. 1995. Remote sensing as a tool for diagnosis of water quality in Indonesian sea. *Ocean and Coastal Management*. 27: 197--215.
- Radiarta, I N., S.E. Wardoyo, B. Priono, dan O. Praseno. 2003. Aplikasi sistem informasi geografis untuk penentuan lokasi pengembangan budidaya ikan laut di Teluk Ekas, Nusa Tenggara Barat. *J. Pen. Perik. Indonesia*. 9(1): 67--78.
- Radiarta, I N., A. Saputra, dan B. Priono. 2004. Pemetaan kelayakan lahan untuk pengembangan usaha budidaya laut di Teluk Saleh, Nusa Tenggara Barat. *J. Pen. Perik. Indonesia*. 10(5): 19--32.
- Radiarta, I N., T.H. Prihadi, dan T. Sunarno. 2005. Pemantauan perikanan budidaya berbasis KJA di Waduk Cirata dengan menggunakan multi-temporal data landsat 7. *W. Pen. Perik. Indonesia*. 11(2): 2--8.
- Radiarta, I N., A. Sudradjat, dan L.E. Hadie. 2007. Monitoring perikanan tambak dengan menggunakan data penginderaan jauh di Kabupaten Karawang, Jawa Barat. *Media Akuakultur*. 2(1): 193--198.
- Radiarta, I N., A. Saputra, O. Johan, dan T.H. Prihadi. 2006a. Pemetaan kelayakan lahan budidaya ikan laut di Kecamatan Moro, Kepulauan Riau: dengan pendekatan sistem informasi geografis. *J. Pen. Perik. Indonesia*. 1(2): 291--302.
- Radiarta, I N., A. Saputra, J. Hariyadi, O. Johan, dan T.H. Prihadi. 2006b. Pemilihan lokasi budidaya ikan dalam keramba jaring apung, menggunakan multi kriteria analisis dan sistem informasi geografi di Teluk Kapantori, Sulawesi Tenggara. *J. Pen. Perik. Indonesia*. 1(3): 337--348.
- Ramasubramanian, R., L. Gnanappazham, T. Ravishankar, and M. Navamuniyammal. 2006. Mangrove of Godavari-analysis through remote sensing approach. *Wetlands Ecology and Management*. 14: 29--37.
- Richard, J.A. 1994. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Second Revised and Enlarged Edition. Springer-Verlag. 340 pp.
- Salam, M.A., L.G. Ross, and C.M.M. Beveridge. 2003. A comparison of development opportunities for crab and shrimp aquaculture in south-western Bangladesh, using GIS modeling, *Aquaculture*. 220: 477--494.
- Salam, M.A., N.A. Khatun, and M.M. Ali. 2005. Carp

- farming potential in Barhatta Upazilla, Bangladesh: a GIS methodological perspective. *Aquaculture*. 245: 75--87.
- Sawaya, K.E., L.G. Olmanson, N.J. Heinert, P.L. Brezonik, and M.E. Bauer. 2003. Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resources monitoring using high-resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*. 88: 144--156.
- Star, J. and J. Estes. 1990. *Geographic Information Systems: An Introduction* Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 297 pp.
- Sugiyama, S., D. Staples, and S.J. Funge-Smith. 2004. Status and potential of fisheries and aquaculture in Asia and the Pacific. *FAO Regional Office for Asia and the Pacific. RAP Publication 2004/25*. 53 pp.
- Thu, P.M. and J. Populus. 2007. Status and change of mangrove forest in Mekong Delta: case study in Tra Vinh, Vietnam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 71: 98--109.
- Tiensongrussmee, B., S. Pontjoprawiro, and K. Mintarjo. 1988. *Seafarming resources map*. Seafarming Development Project, INS/81/008/Manual/7. FAO, Jakarta, Indonesia. 109 pp.
- Travaglia, C., G. Profeti, J. Anguilar-Manjarrez, and N.A. Lopez. 2004. Mapping coastal aquaculture and fisheries structures by satellite imaging radar. Case study of the Lingayen Gulf, the Philippines. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 459. Rome, FAO. 45 pp.
- Trisakti, B., Parwati, and S. Budiman. 2005. Study of Modis-Aqua data for mapping total suspended matter (TSM) in coastal water. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*. 2: 19--31.
- Tsai, B.W., K.T. Chang, C.Y. Chang, and C.M. Chu. 2006. Analyzing spatial and temporal change of aquaculture in Yulin County, Taiwan. *The Professional Geographer*. 58(2): 161--171.