

APLIKASI CITRA RESOLUSI TINGGI UNTUK PENILAIAN KONDISI MANGROVE DI BEBERAPA NEGARA

Oleh:

Bambang Syaeful Hadi

Jurusan Pendidikan Geografi FIS UNY

Abstrak

Mangrove sebagai ekosistem penting keberadaannya makin terancam oleh berbagai aktivitas manusia yang mengatasnamakan pembangunan, pemenuhan kebutuhan lahan dan kayu yang makin tinggi, dan minimnya pengelolaan mangrove karena terbatasnya basis data dan peta mangrove. Penelitian-penelitian terhadap mangrove yang dilakukan oleh beberapa ahli dan pemerhati dengan menggunakan teknik penginderaan jauh, terutama dengan menggunakan citra satelit resolusi tinggi Quickbird dan Ikonos bertujuan untuk memetakan mangrove dengan berbagai spesiesnya, memonitor dan menilai kondisi, dan merumuskan alternatif pengelolaannya.

Metode yang digunakan oleh beberapa peneliti adalah interpretasi citra Quickbird dan Ikonos baik secara visual maupun digital. Pada umumnya metode pengumpulan data menggabungkan kerja lapangan dengan interpretasi citra. Beberapa peneliti menggunakan alat bantu AccuPar untuk memperoleh nilai LAI yang digunakan untuk mengembangkan model statistik regresi dengan melibatkan nilai NDVI.

Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik penginderaan jauh khususnya dengan citra resolusi tinggi Quickbird dan Ikonos di beberapa negara sangat efektif untuk pengenalan spesies mangrove, memetakannya, mengenali dan mengukur biofisiknya, dan kondisi kesehatannya. Klasifikasi hutan mangrove dapat dibuat secara cepat dengan akurasi yang dapat dipertanggungjawabkan. Bantuan cek lapangan dan analisis statistik (regeresi) dapat mengungkap hubungan yang erat antara LAI, NDVI dengan karakteristik mangrove di lapangan.

Kata kunci: *quickbird, NDVI, pemetaan, mangrove*

Pendahuluan

Hutan mangrove merupakan ekosistem yang sangat penting untuk menjaga kestabilan daerah pesisir, menjaganya dari berbagai perilaku laut yang dapat membahayakan kehidupan, seperti pasang tinggi, erosi, badai, gelombang tsunami dan fungsi melestarikan kehidupan seperti menjaga kualitas air, sumber nutrisi bagi sejumlah rantai makanan, bertindak sebagai tempat berkembang biak, pemijahan menetas, dan melindungi berbagai spesies laut, menyediakan produk-produk subsisten dan non-kayu hutan untuk lokal masyarakat, (Neukermans, 2007; Satyanarayana, et.al, 2011), tetapi keberadaannya tetapi saat ini semakin terancam oleh berbagai macam aktivitas manusia yang mengatasnamakan pembangunan, seperti pengembangan wilayah pariwisata dan pembangunan infrastrukturnya, buangan limbah dari hotel-hotel dan resort di sepanjang pantai dan tumpahan minyak, seperti diungkapkan Saleh (2011) yang terjadi di Pulau Abu Minqar. Disamping itu eksploitasi hutan mangrove oleh penduduk lokal untuk memenuhi kebutuhan kayu semakin memperparah kondisi hutan mangrove. Beberapa hutan mangrove bahkan mengalami kepunahan karena penebangan. Penebangan dilakukan untuk memenuhi kebutuhan lahan untuk digunakan sebagai lahan produksi pangan dan industri (Satyanarayana, 2009).

Beberapa alternatif untuk memecahkan masalah tersebut adalah dengan: (1) melakukan pemantauan secara berkesinambungan melalui penelitian dinamika pola penggunaan lahan pesisir (Satyanarayana, 2009); (2) Memetakan posisi hutan mangrove sehingga dapat diketahui posisi, tegakan dan jenis spesies yang ada melalui metode tertentu, misalnya melalui metode automasi dan overlay sebagaimana yang dilakukan Neukermans (2007); (3) Melakukan evaluasi kondisi mangrove. Hasil evaluasi kemudian dipetakan sehingga perlakuan dan penanganan pada setiap wilayah mangrove dapat ditentukan sesuai dengan kondisi masing-masing secara tepat (Kovacks, 2007). Untuk mengatasi kondisi mangrove yang telah rusak, Saleh (2011) mengusulkan perlunya reboisasi dan penyediaan basis data untuk memantau perubahan habitat mangrove. Kelima peneliti menggunakan citra Quickbird, dengan alasan bahwa citra tersebut dapat secara mudah diinterpretasi variable-variabel yang berkaitan dengan kondisi hutan mangrove. Deliniasi citra juga dapat dilakukan baik secara visual maupun digital. Neukermans (2007) menginterpretasi secara visual terhadap citra Quickbird dan Ikonos tetapi dikombinasikan dengan analisis fuzzy, sementara Satyanarayana (2009) melakukannya secara digital dengan memanfaatkan nilai digital mangrove (NDVI).

Pada uraian berikut akan dibahas mengenai hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti. (1) peranan citra Quickbird dalam menilai kondisi hutan mangrove di beberapa daerah penelitian penilaian; (2) kondisi hutan mangrove di beberapa negara yang menjadi lokasi penelitian dan

permasalahan pengelolaannya; (3) metode untuk menilai kondisi mangrove, termasuk di dalamnya struktur dan spesies hutan mangrove berdasarkan nilai indeks vegetasi (NDVI/LAI); dan (4) membahas hasil yang diperoleh dengan memanfaatkan teknik-teknik tersebut, termasuk di dalamnya adalah akurasinya.

Peranan Citra Resolusi Tinggi untuk Penilaian Kondisi Mangrove

Penggunaan citra resolusi tinggi untuk menilai kondisi hutan dan memetakannya telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Kovacs (2009) menggunakan citra Quickbird dan Ikonos hasil rekaman tanggal 25 April 2007 (rekaman pada saat musim kemarau), beralasan bahwa keduanya memiliki resolusi spasial yang tinggi sehingga variabel-variabel yang dapat dipakai untuk menilai kondisi hutan dan jenis spesies bakau dapat dikenali secara mudah. Disamping itu penyusunan klasifikasi hutan berdasarkan spesiesnya dapat menjadi lebih rinci dibandingkan dengan hasil interpretasi citra lainnya yang beresolusi lebih rendah (seperti Landsat) . Bahkan dari hasil interpretasi citra resolusi tinggi tersebut dapat dilakukan model statistik, dan perhitungan biaya yang lebih murah. Walaupun penekanannya pada penggunaan kedua citra tersebut, tetapi Kovack menggunakan Landsat untuk citra bantu.

Satyanarayana (2011) menggunakan citra Quickbird dan Ikonos dalam penelitiannya dengan alasan bahwa citra tersebut efisien untuk deteksi data kuantitatif dan pemantauan sumber daya alam bumi, disamping juga kemampuannya untuk menyediakan data secara lebih tepat waktu dan biaya yang terjangkau. Umumnya citra ini digunakan sebagai pengganti foto udara yang dianggap mahal. Di Malaysia yang merupakan negara yang memiliki hutan mangrove terbesar kedua (kira-kira 11,7%), tetapi penelitian mangrove dengan teknik penginderaan jauh juga masih tergolong langka. Di Delta Kelantan, beberapa area hutan mangrove bahkan tidak dapat diakses, sehingga pemanfaatan teknik penginderaan jauh khususnya dengan citra Quickbird memungkinkan dilakukannya pemetaan jenis dan spesies hutan mangrove. Berdasarkan interpretasi citra Quickbird juga dapat dilakukan analisis hubungan antara indeks vegetasi (misal NDVI) dengan dendrometri (kerapatan pohon dan area basal).

Pemanfaatan citra satelit resolusi tinggi Quickbird dalam penelitian yang dilakukan oleh Shaleh (2007). Citra Quickbird yang digunakan terdiri dari citra dengan band pankromatik dan multispektral. Citra yang berupa data mentah diimpor ke format IMG dan ditumpang susunkan dengan menggunakan perangkat lunak ERDAS.

Metode Penilaian

Kovacks (2009) dalam penelitian untuk menilai kondisi mangrove menggunakan metode cepat pemetaan kondisi mangrove berbasis estimasi LAI. Secara khusus menggunakan Ceptometer AccuPAR LP-80, pengukuran LAI in situ terhadap 300 titik diambil pada berbagai tempat yang didominasi oleh mangrove hitam (*Avicennia germinans*) di bagian utara. Dari sampel ini, pengukuran dilakukan terhadap 225 titik yang selanjutnya dikembangkan menjadi model regresi linier untuk mengungkap hubungan antara nilai-nilai yang diinterpretasi dari citra Quickbird. Analisis regresi terhadap LAI in situ dengan indeks vegetasi (NDVI) dan indeks vegetasi (SR).

Kondisi daerah penelitian Satyanarana (2011) berbeda dengan penelitian Kovacks, di daerah ini terdapat 6 jenis hutan mangrove *Avicennia alba* B1., *Bruguiera gymnorhiza* Lamk, *Nypa fruticans* (thunb.) Wurmb., *Rhizophora apiculata* B1., *R. mucronata* Lamk. dan *Sonneratia caseolaris* (L.) Engler. Untuk memperoleh data lapangan ditentukan 21 stasiun yang didasarkan pada suatu grid dengan interval 1 km. Lokasi sampel dipilih dengan bantuan GPS dan dalam beberapa kasus ditentukan berdasarkan lokasi titik terdekat. Lokasi sampel berdasarkan grid ditentukan sebanyak 194 titik lokasi. Kerja lapangan yang digunakan untuk melengkapi data dilakukan dengan metode PCQM (segi empat yang berpusat pada titik), tujuannya untuk mengestimasi kepadatan daun. Selanjutnya, analisis data terhadap citra multi spektral Quickbird yang menggambarkan vegetasi mangrove dipilih untuk dijadikan sebagai sampel. Koreksi radiometrik dan koreksi geometrik dilakukan agar citra yang diinterpretasi tidak menyimpang dari kondisi sebenarnya. Peta penggunaan/tutupan lahan diperoleh dengan cara klasifikasi likelihood maksimum terselia dengan menggunakan perangkat lunak ERDAS. NDVI diturunkan dari citra Quickbird untuk menunjukkan tingkat kehijauan atau biomassa mangrove. Nilai NDVI diperoleh dari $[(NIR) - R] / [(NIR) + R]$.

Metode penelitian yang digunakan oleh Shaleh (2007) dilakukan dengan menginterpretasi citra Quickbird yang dibandingkan dengan Ikonos disertai dengan pengukuran dengan menggunakan LTD yakni untuk mengukur jarak, tinggi, luas, dan lokasi wilayah yang tidak terjangkau menggunakan System Data Tripod. Untuk mengukur akurasi geometrik citra dilakukan dengan menggunakan GPS. Citra Quickbird dan Ikonos pada awalnya diklasifikasi tidak terselia (*unsupervised classification*) dengan ISODATA terintegrasi menggunakan perangkat lunak ERDAS, daerah penelitian dibagi menjadi 100 kluster.

Kovacs et.al (2010) melakukan penelitian di Mabala dan pulau-pulau Yelitono, wilayah pesisir selatan Guyana dengan menggabungkan metode pengukuran lapangan dan teknik penginderaan jauh. Kerja lapangan digunakan untuk mengukur parameter biofisik (misal kerapatan batang, area basal)

dibantu alat AccuPAR. Citra Quickbird multispektral digunakan untuk memperoleh nilai NDVI, citra dimodifikasi dari aslinya, resolusi radiometrik juga dikonversi dari 11 bit menjadi 8 bit, band pankromatik disatukan dengan band multispektral. Model statistik juga diterapkan untuk memperoleh hubungan antara kondisi biofisik dengan LAI dengan indeks rasio.

Penggunaan citra satelit Quickbird oleh Neukermans (2007) dalam penelitian untuk mengenali species dan tegakan mangrove dimaksudkan untuk mempermudah penilaian. Citra Quickbird yang digunakan adalah hasil rekaman band pankromatik dan multispektral hasil rekaman tahun 2002. Sebelum digunakan, citra tersebut dikoreksi radiometrik, koreksi geometrik untuk ketepatan lokasi) dan dipetakan dengan proyeksi kartografi. Penentuan lokasi sampel dibantu dengan GPS Garmin III. Jumlah sampel untuk cek lapangan ditentukan sebanyak 13 transek. Penggunaan metode PCQM bertujuan untuk menggambarkan kepadatan, dominasi dan frekuensi pohon tua, dewasa, dan muda.

Kondisi Mangrove di Beberapa Negara

Kondisi mangrove di beberapa negara mengalami kondisi yang memprihatinkan disamping pengelolaanya yang belum memadai. Kondisi ini diungkapkan oleh beberap peneliti. Mexico telah kehilangan kawasan hutan mangrove sekitar 20% selama periode 9 tahun, sehingga upaya pencegahan dan pengontrolan secara terus menerus perlu dilakukan dengan cara yang efektif (Kovacs et.al, 2009). Di sepanjang pesisir negara bagian Sinaloa, di utara dan selatan Narayit memiliki tiga jenis mangrove, yakni mangrove merah (*rizhopora mangle*), mangrove hitam (*avicennia germinans*) dan mangrove putih (*laguncularia racemosa*). Dari ketiga jenis mangrove itu mangrove merah yang paling sedikit. Mangrove hitam mendominasi keberadaan mangrove di daerah ini, tetapi kondisinya cukup memprihatinkan. Mangrove di daerah ini menjadi sumber daya lokal yang penting tetapi mengalami degradasi yang terus menerus. Pembuatan saluran-saluran baru pada tahun 1972 telah mengubah salinitas dan daerah pasang surut telah memengaruhi perkembangan mangrove secara signifikan.

Di Malaysia (semenanjung timut), khususnya di Delta Kelantan memiliki sekitar 1200 hektar mangrove, menurut Satyanarayana (2011) dalam beberapa dekade terakhir kondisi hutan mangrove sangat memprihatinkan karena meningkatnya permintaan lahan yang akan dialokasikan untuk keperluan lahan produksi pangan dan lahan industri, baik di pesisir pantai maupun kota. Berdasarkan angka kehilangan area hutan mangrove yang telah hilang, maka dapat diperkirakan bahwa hutan mangrove akan kehilangan area sampai seluas 60% pada tahun 2030.

Kondisi hutan mangrove di Pulau Abu Minqar, Alghardaqa, Mesir sebagaimana dilaporkan Shaleh (2011) merupakan representasi dari hutan bakau yang terdesak oleh pembangunan pariwisata. *Avicenia marina* merupakan spesies yang dominan di pulau itu. Produktivitas mangrove di pulau ini umumnya rendah. Mangrove di sini mencerminkan perbatasan di wilayah Indo-Pasifik. Keberadaan mangrove di Pulau Abu Minqar ini cukup memprihatinkan. Penyebabnya adalah menjelang tahun 1990, Mesir mulai mengembangkan daerah ini untuk industri pariwisata yang melibatkan pembangunan resort baru disamping perluasan resort yang telah ada. Pembangunan hotel-hotel dan infrastruktur pendukung, tumpahan minyak pada penambangan lepas pantai diyakini memiliki dampak pada ekosistem di sekitarnya.

Menurut laporan terbaru dari FAO, Guyana diperkirakan memiliki hutan mangrove seluas 276.342 hektar, sekitar 9% dari seluruh mangrove di Afrika. Menurut Kovacs et.al (2010) kekhawatiran terhadap masa depan mangrove muncul karena eksploitasi yang tidak terkendali sebagai dampak cepatnya pertumbuhan penduduk. Konversi hutan mangrove menjadi lahan pertanian sebagaimana dilaporkan FAO telah menjadi ancaman besar. Diperkirakan 1400 km² dari mangrove yang telah dikonversi menjadi sawah pada tahun 1993, kini sebagian dari lahan tersebut kira-kira 620 km² telah ditinggalkan. Mengingat ancaman yang semakin besar, maka diperlukan pemantauan secara intensif.

Neukermans (2007) menjadikan kekhawatirannya terhadap kondisi mangrove di Teluk Gazi, bagian selatan Kenya sebagai alasan untuk melakukan penelitian mangrove ini. Luas hutan mangrove di wilayah ini diperkirakan seluas 600 hektar. Kerugian yang disebabkan oleh eksploitasi manusia atas mangrove di daerah ini diperkirakan lebih tinggi 2,1% per tahun dari kerugian akibat kerusakan hutan tropis dan terumbu karang. Mangrove di wilayah ini telah dimanfaatkan selama bertahun-tahun untuk industri kayu bakar (pendukung industri kapur dan batu bata sejak tahun 1970-an) dan bahan bangunan. Kehilangan mangrove dapat terjadi hingga 20%, sehingga dapat mengarah pada dunia tanpa mangrove. Dunia tanpa mangrove akan mengganggu keseimbangan hubungan laut dengan daratan. Manusia pula yang akan merasakan dampak buruknya.

Hasil dan Akurasi

Hasil penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti mangrove di beberapa negara menunjukkan bahwa citra Quickbird dan Ikonos dapat mengungkap kondisi mangrove secara meyakinkan. Penelitian yang dilakukan Kovacs (2009) di hutan mangrove Teacapan-Agua Brava-estuarial Las Heciendas dengan memanfaatkan Quickbird menunjukkan bahwa berdasarkan nilai LAI yang berkisar 0,11 sampai 7,53, dengan rata-rata LAI 2,57 dapat ditemukan spesies mangrove merah dan putih pada mangrove yang sehat, tetapi yang

paling dominan adalah mangrove hitam. Hasil analisis regresi terhadap nilai LAI, NDVI dan SR menunjukkan hubungan yang signifikan, LAI terhadap NDVI ($r=0,63$), LAI terhadap SR ($r=0,68$). Tidak termasuk kawasan mangrove yang telah mati (LAI=0) masih terdapat 40% dari total luas hutan mangrove 30,4 km², kondisi mangrove yang benar-benar sehat hanya 8%. Hasil pengujian Anava dan t-test terhadap hasil dari kedua model tersebut menunjukkan perbedaan yang sedikit antara kedua model tetapi model regresi lebih baik. Dengan kata lain, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara model-model tersebut.

Studi terhadap struktur hutan untuk tujuan silvikultur dengan menggunakan parameter biofisik (kerapatan batang, area basal, biomassa) yang tergambar pada citra Quickbird dilakukan oleh Satyanarayana (2011) di Delta Kelantan, Malaysia. Hasil klasifikasi terselia terhadap citra Quickbird berupa peta penggunaan/tutupan lahan. Spesies mangrove yang paling banyak dan benar berdasarkan cek lapangan adalah *A.alba*, *N* dan *S. Caseolaris fruticans*. Berdasarkan perhitungan, hutan mangrove yang lebat hanya menempati areal seluas 339,6 hektar walaupun terdapat pada daerah delta yang luasnya 1200 hektar. Pada peta penutup lahan, sebagian besar ditunjukkan oleh warna hijau gelap, menegkpresikan nilai NDVI yang tinggi (0,5-0,8), hijau cerah menunjukkan NDVI moderat (0,2-0,5) dan rendah NDVI hijau muda (0,1-0,2). Rata-rata nilai NDVI di tujuh lokasi adalah 0,38-0,68. Hasil analisis regresi terhadap nilai NDVI, kerapatan, area basal menunjukkan hubungan yang lemah, tetapi cukup signifikan antara NDVI dengan densitas. Berdasarkan analisis NDVI juga dapat diketahui bahwa pohon-pohon dewasa tidak selalu menunjukkan biomassa yang lebih besar, kecuali jika mereka tumbuh di tempat yang cocok (hidrologi, antropogenik, dan iklim).

Shaleh (2007) dalam penelitiannya berhasil mengidentifikasi dan memetakan spesies mangrove di Pulau Abu Minqar, Laut Merah. Berdasarkan analisis citra Quickbird dapat diketahui luas mangrove di Pulau itu adalah 28,54 hektar (21% dari luas pulau). Spesies mangrove yang terdapat di area tersebut adalah *Avicennia marina*, selain itu ada sejumlah kecil spesies lain yakni *rutes nitraria*, hanya menempati kira-kira 2%. Berdasarkan hasil analisis citra juga dapat diketahui bahwa pada lokasi sampel 2,3,4, dan 5 menunjukkan adanya kontaminasi minyak, puing-puing, botol plastik, bahkan beberapa vegetasi telah tertutup sampah. Kerapatan mangrove sangat tinggi, mencapai 400 pohon per hektar, ketinggian rata-rata 4,3 meter.

Hasil penelitian Kovacs (2010) di Guyana berdasarkan hasil analisis citra Quickbird dengan tingkat ketelitian 97,8 dan 97,5 % (jika dibedakan mangrove dan bukan mangrove) menunjukkan bahwa dari 3.539 batang yang dijadikan sampel, 188 diantaranya merupakan batang yang telah mati. Ketinggian rata-rata batang adalah 6,4 meter. Kerapatan batang tertinggi adalah 5.133 batang/hektar dan kerapatan terendah 225 batang/hektar. Mangrove di wilayah

ini menggambarkan zonasi yang kuat. Dari 56 plot, tercatat hanya 18 plot yang tidak sepenuhnya homogen. Pemisahan mangrove hitam dan mangrove merah cukup berhasil dengan akurasi 85 % dan 83%. Berdasarkan klasifikasi terselia dari citra Quickbird diketahui luas mangrove di daerah penelitian, yakni 10.400 hektar. Zonasi hutan mangrove berdasarkan nilai LAI menunjukkan bahwa LAI yang lebih tinggi terletak di tepi saluran pasang surut. Dari hasil analisis juga dapat diketahui hubungan antara mangrove merah yang kerdil dengan jumlah biomassa yang tinggi.

Neukermans (2007) dalam penelitiannya berhasil memetakan mangrove di Teluk Gazi. Pemetaan mangrove berupa 345 poligon diantara area bukan mangrove yang berjumlah 785 poligon. Tingkat ketelitian interpretasi sebesar 85%. Di daerah penelitian terdapat empat spesies mangrove. Untuk memperoleh hasil yang akurat, hasil pemetaan mangrove dibandingkan dengan hasil pembacaan oleh ahli, dan hasilnya sangat baik, masing-masing poligon berkorepondensi sebanyak 86%.

Kesimpulan

Studi tentang mangrove mengalami kemajuan yang pesat dengan digunakannya teknik penginderaan jauh. Citra resolusi tinggi Quickbird dan Ikonos memungkinkan berbagai variabel biofisik hutan mangrove dapat dikenali dan dipetakan secara mudah. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik, para peneliti banyak yang memadukan teknik penginderaan jauh dengan studi lapangan.

Ketersediaan citra Quickbird dan Ikonos dalam bentuk digital dapat memungkinkan dilakukan klasifikasi secara visual maupun digital. Interpretasi secara digital dapat dilakukan dengan pendekatan multispektral untuk tujuan memudahkan dalam identifikasi distribusi dan jenis mangrove. Pembiayaan kegiatan operasional menjadi lebih murah karena ketersediaan citra jenis ini yang cukup banyak dalam kajian kehutanan. Resolusi spasial yang tinggi ini didukung dengan resolusi temporal yang baik, memungkinkan kegiatan monitoring hutan dapat dilakukan secara periodik.

Penggunaan citra resolusi tinggi (Quickbird dan ikonos) menguntungkan karena (1) dapat menjangkau daerah-daerah mangrove yang tidak terjangkau dapat dijangkau dan diukur kondisinya; (2) Kondisi hutan mangrove yang kini kondisinya cukup memprihatinkan kini dapat dipantau dan dapat dirumuskan strategi pengelolannya; (3) perhitungan secara lebih teliti dengan pendekatan statistik inferensial terhadap variabel-variabel mangrove dapat dilakukan secara mudah dan valid; (4) Penggabungan teknik penginderaan jauh dengan instrumen penelitian terestrial dapat semakin mempertajam akurasi hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Kovacs, J.M., King J.M.L., de Santiago, F.F., Verdugo, F.F. (2009). Evaluating the Condition of a mangrove forest of the Mexican Pacific based on an estimated leaf area index mapping Approach. *Environ Monit Asses* 157:137-149
- Kovacs, J.M., et.al (2010). Assessment of Mangrove in Guinea, Wet Africa, Using a Field and Remote Sensing Based Approach. *Wetlands No 30; 773-782*
- Krause, Gesche And Michael Bock. (2204). Mapping Land-Cover and Mangrove Structures with Remote Sensing Techniques: A Contribution to a Synoptic GIS in Support of Coastal Management in North Brazil. *Environmental Management Vol. 34, No. 3, pp. 429-440*

Neukermans, Guebas F.D., Kairo JG., Koedam N. (2007). Mangrove Species and Stand Mapping in Gazy Bay (Kenya) Using Quickbird Satelit Imagery. *Spacial Science Vol. 52 No.1, Juni 2007, 75-83.*

Saleh Mahmoud A. (2007). Assessment of mangrove vegetation on Abu Minqar Island of the Red Sea. *Journal of Arid Environment vol 68, 331-336*

Satyanarayana, B., Khairul Azwan Mohamad, Indra Farid Idris, Mohd-Lokman Husain, and Farid Dahdouh-Guebas. (2011). Assessment of mangrove vegetation based on remote sensing and ground-truth measurements at Tumpat, Kelantan Delta, East Coast of Peninsular Malaysia. *International Journal of Remote Sensing Vol. 32, No. 6, 20 March 2011, 1635-1650*