

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SPEKTRAL (*SPECTRAL SIGNATURE*) PARAMETER KUALITAS PERAIRAN PADA KANAL LANDSAT ETM+ DAN ENVISAT MERIS (COMPARISON OF WATER CONSTITUENTS SPECTRAL SIGNATURE ON LANDSAT ETM+ AND ENVISAT MERIS BAND)

Syarif Budhiman

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan

e-mail: syarif.budhiman@lapan.go.id

Diterima 18 Juli 2012; Disetujui 12 Oktober 2012

ABSTRACT

This study analyzed 3 optically active water constituents (Total Suspended Matter (TSM), Chlorophyll *a* (Chl *a*) and Color Dissolved Organic Matter (CDOM)) measured by *in situ* spectroradiometer (350-950 nm, interval 3.3 nm) and laboratory analysis for respective concentration measurements. Remote sensing reflectances (R_{rs}) were derived from radiance and irradiance measurements and estimated using bio-optical model approach. The spectral signatures of derived R_{rs} were converted to ETM+ and MERIS bands using respective spectral response sensitivity. The converted R_{rs} were used to estimate the concentrations of 3 optically active water constituents using optimization method. The derived concentrations were validated with measured concentrations from laboratory analysis. ETM+ sensor with 4 bands provided better estimation for TSM ($R^2=0.70$) and CDOM ($R^2=0.64$) while the coefficient determination (R^2) for Chl *a* is only 0.46. However, MERIS sensor with 10 bands provided better estimation than ETM+, with coefficient determinations were higher than 0.70 for all water constituents. RMSE values for MERIS sensor showed smaller error estimation (16.84 gm^{-3} (TSM), 2.66 mg m^{-3} (Chl *a*) and 0.26 m^{-1} (CDOM)) compare with ETM+ sensor (19.89 gm^{-3} (TSM), 4.96 mg m^{-3} (Chl *a*) and 0.29 m^{-1} (CDOM)).

Keywords: *Water quality, Landsat ETM+, Envisat MERIS, Spectroradiometer*

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan analisa konsentrasi tiga parameter kualitas perairan yang secara aktif mempengaruhi perjalanan cahaya pada kolom air, yaitu *Total Suspended Matter* (TSM), *Chlorophyll a* (Chl *a*) dan *Color Dissolved Organic Matter* (CDOM) menggunakan data *in situ* hasil pengukuran spektroradiometer (350-950 nm, interval 3.3 nm) dan nilai konsentrasinya masing-masing hasil analisa laboratorium. Nilai *remote sensing reflectance* (R_{rs}) diturunkan dari pengukuran nilai *radiance* dan *irradiance* dengan menggunakan pendekatan *bio-optical model*. Karakteristik spektral dari nilai R_{rs} ini kemudian diubah kedalam jumlah kanal sensor ETM+ dan MERIS menggunakan informasi sensitivitas respon spektral (*spectral response sensitivity*) dari masing-masing sensor. Nilai R_{rs} yang sudah diubah digunakan untuk mengestimasi nilai konsentrasi tiga parameter kualitas perairan menggunakan metode optimisasi. Nilai konsentrasi yang dihasilkan kemudian divalidasi dengan konsentrasi hasil pengukuran laboratorium. Sensor ETM+ dengan empat kanal-nya hanya memberikan informasi lebih baik untuk TSM ($R^2=0.70$) dan CDOM ($R^2=0.64$), sedangkan untuk Chl *a* hanya memberikan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.46. Sensor MERIS dengan 10 kanal-nya memberikan hasil yang lebih baik dari sensor ETM+, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) lebih besar dari 0.70 untuk semua parameter. Nilai RMSE untuk sensor MERIS juga memperlihatkan hasil yang lebih baik dibandingkan sensor

ETM+, dimana nilai RMSE dari sensor MERIS masing-masing 16.84 gm^{-3} (TSM), 2.66 mg m^{-3} (Chl *a*) dan 0.26 m^{-1} (CDOM)). Sementara itu nilai RMSE dari sensor ETM+ adalah 19.89 gm^{-3} (TSM), 4.96 mg m^{-3} (Chl *a*) dan 0.29 m^{-1} (CDOM).

Kata kunci: *Kualitas perairan, Landsat ETM+, Envisat MERIS, Spektroradiometer*

1 PENDAHULUAN

Suatu perairan akan mengalami penurunan kualitas akibat adanya perubahan-perubahan yang terjadi di sekitar perairan tersebut termasuk yang disebabkan oleh aktifitas manusia dan terjadinya peningkatan kekeruhan perairan oleh karena adanya erosi dan abrasi. Kedua hal tersebut dapat mengganggu penetrasi cahaya matahari ke dalam kolom air yang akhirnya menyebabkan terganggunya proses *photosynthesis*, dan selanjutnya dapat menyebabkan menurunkan produktifitas primer (*primary productivity*) perairan tersebut.

Pengambilan contoh air dan analisa laboratorium merupakan pendekatan umum yang sering digunakan untuk mengetahui kualitas suatu perairan. Kelemahan dari aktifitas tersebut adalah apabila perairan memiliki cakupan wilayah yang luas dan sulit terjangkau, maka diperlukan usaha yang lebih keras dan waktu yang lebih lama. Penginderaan jauh (*remote sensing*) dapat menjadi alternatif untuk pengukuran tersebut. Namun tidak semua parameter kualitas suatu perairan dapat diturunkan secara langsung dari penginderaan jauh. Oleh karena prinsip penginderaan jauh adalah pantulan cahaya yang diterima oleh sensor, maka parameter kualitas perairan yang dapat dianalisa menggunakan data penginderaan jauh adalah parameter perairan yang secara aktif mempengaruhi proses perjalanan cahaya dari sumbernya (matahari) sampai diterima oleh sensor.

Kegiatan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk menganalisa kualitas perairan telah diperkenalkan pada tahun 1970an, diantaranya oleh Preisendorfer (1976) yang mengkaji interaksi energi pada perairan serta Morel

dan Prieur (1977) yang membedakan karakteristik optik perairan laut lepas yang didominasi oleh phytoplankton (*case-1 waters*) dan perairan pesisir yang kompleks dan didominasi tidak hanya oleh phytoplankton tetapi oleh sedimentasi dari sungai. Pada perkembangannya banyak studi yang membahas teori transfer radiant (*radiative transfer theory*) dan pemanfaatannya pada penginderaan jauh untuk menganalisa kualitas perairan (Kirk, 1984; Gordon, 1987; Gordon et al., 1988; Mobley, 1999; Morel and Maritorena, 2001; Lee et al., 2002; Maritorena et al., 2002; Lee et al., 2005; Mélin et al., 2007; Salama et al., 2009; Shen et al., 2010; Bowers et al., 2012; Budhiman et al., 2012; Kilham et al., 2012). Odermartt et al (2012) membahas sejauh mana perkembangan estimasi parameter kualitas perairan (TSM, CHL *a* and CDOM) dari penginderaan jauh. Selain itu, mereka juga mengamati algoritma yang ada lebih banyak diterapkan untuk perairan laut lepas (*case-1 waters*) namun belum ada algoritma global untuk perairan pesisir (*case-2 waters*). Sensor satelit yang digunakan untuk perairan laut lepas umumnya adalah SeaWiFS, MODIS atau MERIS (Odermartt et al., 2012) yang memiliki resolusi spektral tinggi bila dibandingkan dengan sensor pada Landsat atau SPOT, tetapi memiliki resolusi spasial lebih rendah. Sedangkan untuk perairan pesisir diperlukan sensor yang memiliki resolusi spasial tinggi dan juga resolusi spektral tinggi. Perbedaan resolusi spektral ini akan berdampak pada hasil analisa parameter kualitas air yang didapat. Sebagian besar penelitian dengan pendekatan menggunakan *bio-optical model* yang dilakukan lebih banyak di perairan non-tropis, sedangkan untuk di perairan tropis seperti di Indonesia

masih sangat sedikit (Van der Woerd and Pasterkamp, 2002; Hendiarti, 2003; Budhiman, 2004; Ambarwulan et al., 2011; Campbell et al., 2011; Ambarwulan et al., 2012; Budhiman et al., 2012). Penelitian sejenis ini masih perlu dilakukan di Indonesia untuk lebih dapat memahami karakteristik optik (*optical properties*) dari perairan di Indonesia.

Penelitian ini menggunakan alat spectroradiometer TriOS-RAMSES (www.trios.de) untuk mengukur *apparent optical properties* (AOP) perairan, dimana pengukurannya dilakukan bersama-sama dengan pengambilan contoh air untuk analisa konsentrasi perairan. AOP merupakan karakteristik perairan yang dipengaruhi oleh posisi geometri cahaya terhadap obyek dan sensor, serta konsentrasi parameter kualitas perairan itu sendiri. Reflektansi perairan termasuk dalam kategori AOP, karena reflektansi perairan akan berbeda apabila sudut posisi sumber cahaya matahari terhadap obyek dan sensor juga berbeda. Selain itu nilai konsentrasi yang berbeda juga akan memberikan karakteristik spektral yang berbeda.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari hasil penelitian Budhiman et al (2012), dimana pada penelitian ini ingin melihat perbedaan jumlah kanal dalam mengekstraksi informasi parameter kualitas perairan. Pertanyaan yang ingin dijawab dari penelitian ini adalah, bagaimana apabila *spectral response* parameter kualitas perairan hanya dideteksi oleh sejumlah kecil kanal yang ada pada sensor? Jumlah kanal merupakan salah satu karakteristik resolusi spektral sensor, selain rentang kanal (*bandwidth*) dan posisi kanal pada spektrum panjang gelombang tampak (Herold et al., 2003). Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan pengaruh keberadaan jumlah kanal pada sensor satelit yang sensitif dalam mendeteksi konsentrasi 3 parameter kualitas perairan *Total Suspended Matter* (TSM), *Chlorophyll a* (Chl *a*) dan *Color*

Dissolved Organic Matter (CDOM)). Contoh sensor dengan perbedaan jumlah kanal yang sensitif dalam mendeteksi parameter kualitas perairan pada penelitian ini adalah Landsat ETM+ (4 kanal) dan Envisat MERIS (10 kanal). Data *remote sensing reflectance* (R_{rs}) yang digunakan diturunkan dari data *in situ* hasil pengukuran spectroradiometer (350-950 nm) dan konsentrasi yang dihasilkan kemudian divalidasi dengan nilai konsentrasi hasil pengukuran laboratorium. Dari hasil penelitian ini, dapat diketahui kemampuan sensor ETM+ (4 kanal) dan MERIS (10 kanal), yang memiliki jumlah kanal yang berbeda, untuk mengukur nilai konsentrasi 3 parameter kualitas perairan berdasarkan pendekatan analisa *bio-optical model*.

2 METODE

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan di perairan Delta Mahakam, Propinsi Kalimantan Timur, pada Agustus 2009. Sebanyak 119 contoh air diambil dari perairan tersebut kemudian dianalisa di laboratorium Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman untuk analisa TSM dan di laboratorium Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB untuk analisa Chl *a*. Analisa TSM dan Chl *a* menggunakan metode APHA (*American Public Health Association*) (Clesceri et al., 1998). Oleh karena pengukuran CDOM belum dapat dilakukan di laboratorium Indonesia, maka analisa konsentrasi CDOM, dalam unit serapan (m^{-1}), dihitung menggunakan metode *Quasi-Analytical Algorithm* (Lee et al., 2002) dengan memasukan informasi konsentrasi TSM dan Chl *a* hasil analisa laboratorium serta nilai *remote sensing reflectance* (R_{rs}) yang didapat dari pengukuran lapangan.

Pengukuran *apparent optical properties* (AOP) menggunakan spectroradiometer TriOS-RAMSES dilakukan bersamaan dengan pengambilan contoh air *in situ*, sehingga data hasil analisa nilai konsentrasi contoh air dapat dijadikan sebagai validasi untuk hasil

perhitungan nilai konsentrasi yang diturunkan dari data AOP. Sensor spectroradiometer mengukur pada panjang gelombang 350-950 nm, dengan interval sekitar 3.3 nm. Data diambil dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) *Multi Sensor Data Acquisition* (MSDA) dan terkoreksi radiometrik menggunakan *nominal calibration constants* yang terintegrasi dengan perangkat lunak tersebut. Data AOP yang diambil adalah data *upward radiance* perairan (L_{sfc}), *downward radiance* atmosfer (L_{sky}) dan *downward irradiance* atmosfer (Ed_{sky}). Dari data tersebut dapat dihitung nilai *remote sensing reflectance* (R_{rs}) berdasarkan persamaan (Gordon et al., 1988; Mobley, 1999; Mueller et al., 2003)

$$R_{rs} = \frac{L_w}{Ed_{sky}} \quad (2-1)$$

$$L_w = L_{sfc} - \rho_{sky} L_{sky} \quad (2-2)$$

L_w adalah nilai *radiance* yang berasal dari kolom air, sedangkan ρ_{sky} adalah bagian (*fraction*) dari *reflectance* pada permukaan perairan yang berasal dari pantulan cahaya matahari, nilai ini dapat diestimasi menggunakan persamaan *Fresnel* (Hecht, 2002). Nilai ρ_{sky} selain dapat diestimasi menggunakan persamaan *Fresnel*, juga dapat digunakan nilai konstan hasil penelitian Mobley (1999) menggunakan simulasi berdasarkan kondisi tutupan awan.

Hubungan antara nilai *reflectance* pada sensor (*remote sensing reflectance*) dengan nilai konsentrasi parameter perairan didasarkan pada prinsip cahaya yang mengalami serapan (*absorbed*) dan cahaya yang dipantulkan kembali ke permukaan (*backscattered*) perairan tersebut, atau umum dikenal sebagai *inherent optical properties* (IOP). Hubungan tersebut dapat dituliskan sebagai persamaan berikut (Gordon et al., 1988)

$$R_{rs} = \frac{t}{(n_w^2) \left(g_1 \left(\frac{b_b}{b_b + a} \right) + g_2 \left(\frac{b_b}{b_b + a} \right)^2 \right)} \quad (2-3)$$

Nilai g_1 dan g_2 adalah konstanta ($g_1 = 0.0949$ dan $g_2 = 0.0794$), sedangkan t adalah nilai transmisi air laut-udara (*sea-air transmission*) ($t = 0.98$) dan n_w adalah nilai indeks refraksi air ($n_w = 1.34$). Adapun a dan b_b adalah total nilai serapan (*absorption*) dan pantulan balik (*backscattering*) pada perairan. Total cahaya yang diserap dan dipantulkan kembali oleh muatan yang terdapat di perairan dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut

$$a = a_w + a_{chl} + a_{CDOM} + a_{NAP} \quad (2-4)$$

$$b_b = b_{b,w} + b_{b,TSM} \quad (2-5)$$

Dimana a_w , a_{chl} , a_{CDOM} dan a_{NAP} adalah nilai serapan cahaya oleh molekul air, *chlorophyll a*, CDOM dan partikel non-organik (*non-algae particles*). Sedangkan $b_{b,w}$ dan $b_{b,TSM}$ adalah nilai hamburan balik oleh molekul air dan muatan padatan tersuspensi (TSM). Nilai-nilai tersebut merupakan nilai *Inherent Optical Properties* (IOP) perairan. IOP itu sendiri adalah karakteristik optik perairan yang dipengaruhi oleh tipe dan konsentrasi partikel yang ada di kolom perairan tersebut. Konsentrasi ini dapat diestimasi dari parameterisasi menggunakan metode Lee (1998) untuk serapan *chlorophyll*, metode Bricaud (1981) untuk serapan CDOM dan partikel non-organik serta metode Kopelevich (1983) untuk hamburan balik TSM (Budhiman et al, 2012).

Nilai-nilai IOP tersebut dapat dihubungkan dengan konsentrasi parameter perairan yang akan diukur (TSM, Chl *a* dan CDOM) menggunakan informasi *Specific Inherent Optical Properties* (SIOP) berdasarkan hukum Lambert-Beer

$$SIOP = \frac{IOP}{C}, \text{ dimana } C = \text{konsentrasi} \quad (2-6)$$

Nilai SIOP diestimasi menggunakan nilai IOP pada persamaan (2-4) dan (2-5) serta nilai konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran laboratorium. Setelah nilai SIOP diketahui, maka nilai tersebut dapat mensubstitusi nilai IOP pada persamaan (2-4) dan (2-5) menjadi:

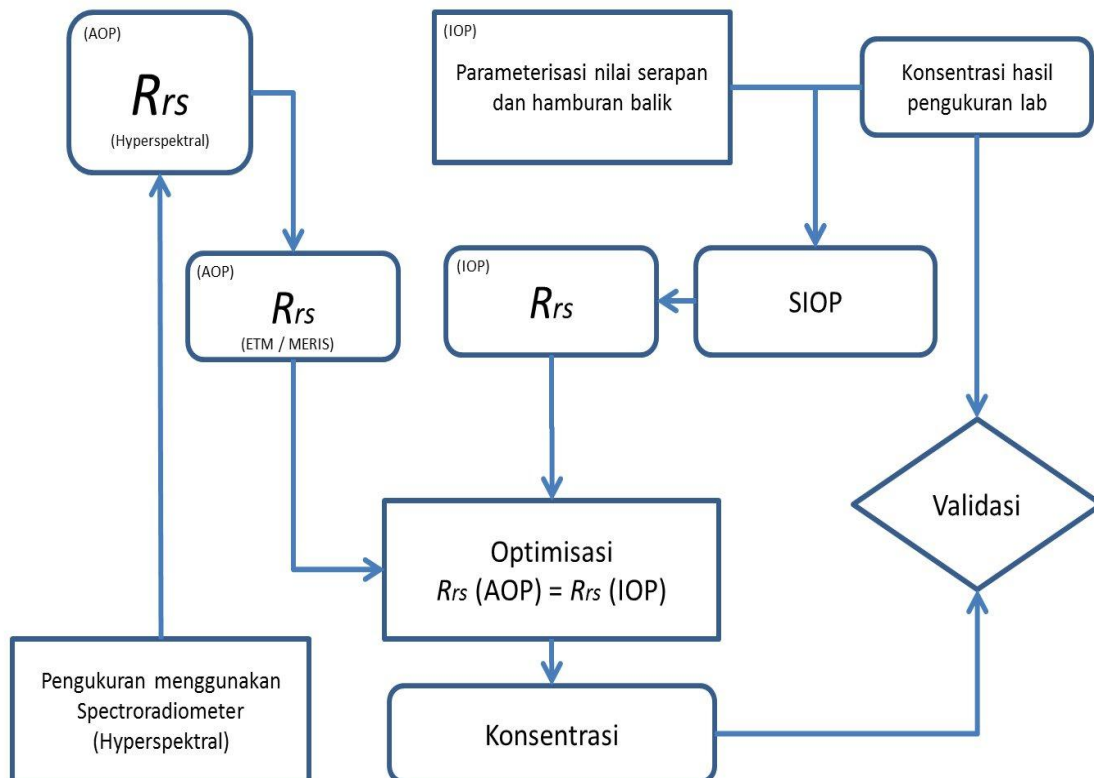
$$a = a_w + (a_{chl}^* C_{chl}) + (a_{CDOM}^* C_{CDOM}) + (a_{NAP}^* C_{TSM}) \quad (2-7)$$

$$b_b = b_{b,w} + (b_{b,TSM}^* C_{TSM}) \quad (2-8)$$

Dimana a_{chl}^* , a_{CDOM}^* dan a_{NAP}^* adalah nilai SIOP serapan *chlorophyll a*, CDOM dan partikel non-organik (*non-algae particles*). Sedangkan $b_{b,TSM}^*$ adalah nilai SIOP hamburan balik oleh molekul air dan muatan padatan tersuspensi (TSM). Nilai serapan dan hamburan balik untuk molekul air (a_w dan $b_{b,w}$) merujuk pada hasil penelitian Pope dan Fry (1997) serta Mobley (1994). C_{chl} , C_{CDOM} dan C_{TSM} adalah konsentrasi dari masing-masing parameter kualitas air. Persamaan (2-7) dan (2-8) ini kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan (2-3) untuk mendapatkan nilai R_{rs} . Nilai R_{rs} pada persamaan (2-3) secara teori sama dengan nilai R_{rs} pada persamaan (2-1) hasil pengukuran spektrodiodometer di lapangan (Kirk, 1994; Mobley, 1994).

Untuk mendapatkan nilai konsentrasi berdasarkan jumlah kanal yang terdapat pada Landsat ETM+ (4 kanal) dan Envisat MERIS (10 kanal), maka *remote sensing reflectance* (R_{rs}) dari spektrodiodometer yang berupa data

hyperspektral (350-950 nm) dengan interval 3.3 nm harus diubah kedalam jumlah kanal pada masing-masing sensor dengan menggunakan informasi nilai *spectral response sensitivity* masing-masing kanal sensor ETM dan MERIS. Nilai sensitivitas respon spektral ini didapat dari website resmi masing-masing sensor tersebut. Kemudian untuk mendapatkan nilai konsentrasi berdasarkan *remote sensing reflectance* (R_{rs}), maka digunakan metode optimisasi non linear menggunakan program Solver pada perangkat lunak MS Excel. Perhitungan optimisasi berdasarkan analisa selisih terdekat antar kurva (*best fit curve*) antara kurva nilai (R_{rs}) dari pengukuran lapangan dan kurva karakteristik spektral (R_{rs}) dari perhitungan IOP di atas. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai konsentrasi yang dihasilkan dengan nilai konsentrasi hasil pengukuran, dan dihitung besar nilai kesalahannya menggunakan *root mean squared error* (RMSE). Secara umum keseluruhan kegiatan penelitian ditampilkan dalam diagram alir pada Gambar 2-1.



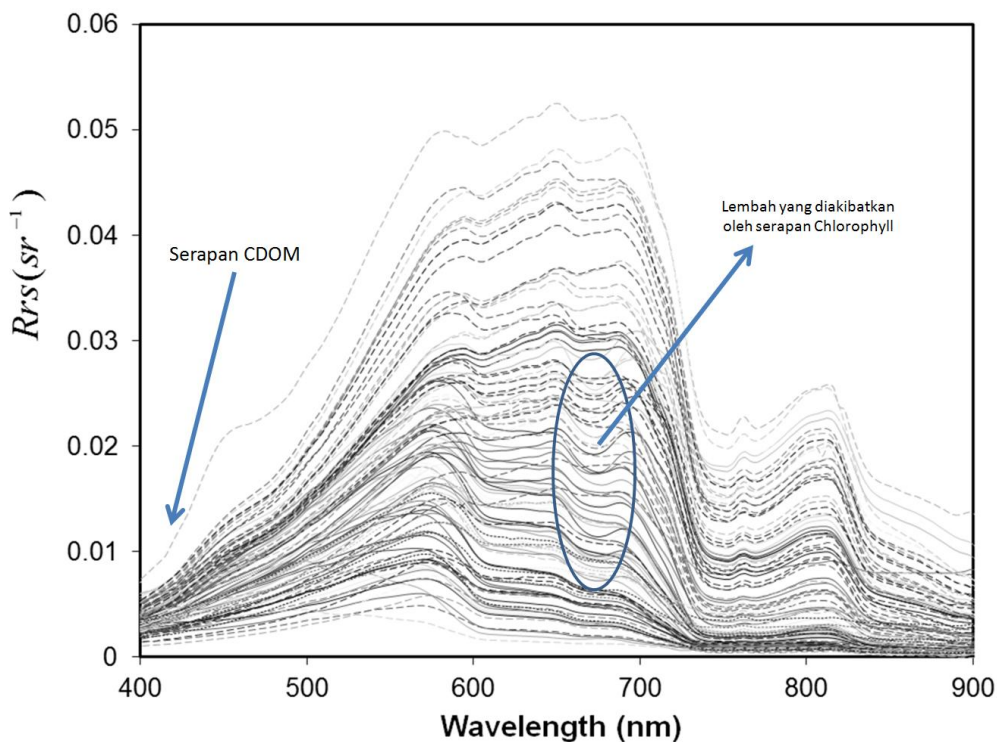
Gambar 2-1: Diagram alir penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian di perairan Delta Mahakam, Propinsi Kalimantan Timur yang dilakukan oleh Budhiman et al (2012). Proses penentuan nilai IOP dan SIOP di perairan Delta Mahakam dilakukan berdasarkan hasil pengukuran metode *above-water measurements*. Nilai-nilai IOP dan SIOP yang dihasilkan oleh Budhiman et al (2012) kemudian digunakan sebagai data untuk estimasi nilai konsentrasi dengan metode optimisasi berdasarkan jumlah kanal pada sensor ETM+ dan MERIS. Nilai-nilai IOP dan SIOP ini digunakan untuk mendapatkan nilai *remote sensing reflectance* (R_{rs}) berdasarkan persamaan (2-3), disebut sebagai R_{rs} (IOP). Kemudian dilakukan proses optimisasi nilai R_{rs} (IOP) dengan *remote sensing reflectance* (R_{rs}) hasil spektroradiometer (R_{rs} (AOP)). Adapun nilai R_{rs} (AOP) yang diturunkan dari pengukuran dengan menggunakan persamaan (2-1) dapat dilihat pada Gambar 3-1.

Gambar 3-1 menunjukkan karakteristik spektral yang dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi 3 parameter

yang aktif merubah intensitas cahaya pada kolom air, selain molekul air itu sendiri. Semakin tinggi nilai konsentrasi TSM, maka puncak kurva karakteristik spektral akan semakin meningkat bahkan cenderung bergeser dari panjang gelombang di sekitar 600 nm mendekati panjang gelombang 700 nm. Konsentrasi CDOM berpengaruh terhadap serapan pada panjang gelombang biru (sekitar 400 nm), sehingga pantulan yang tinggi oleh molekul air pada panjang gelombang tersebut tertutupi oleh serapan cahaya yang tinggi dikarenakan keberadaan CDOM. Keberadaan chlorophyll mempengaruhi serapan cahaya pada panjang gelombang sekitar 670 nm, sehingga menimbulkan lembah pada kurva karakteristik spektral. Pada kesempatan ini digunakan Landsat ETM+ dan Envisat MERIS sebagai pembanding. Oleh karena pengukuran spektroradiometer hanya berjarak sekitar 2-3 meter dari permukaan perairan, maka *noise* yang diakibatkan oleh material yang terdapat di atmosfer dapat diabaikan, sehingga tidak perlu ada proses koreksi atmosfer pada penelitian ini.



Gambar 3-1: *Remote sensing reflectance* diturunkan dari pengukuran AOP menggunakan spektroradiometer

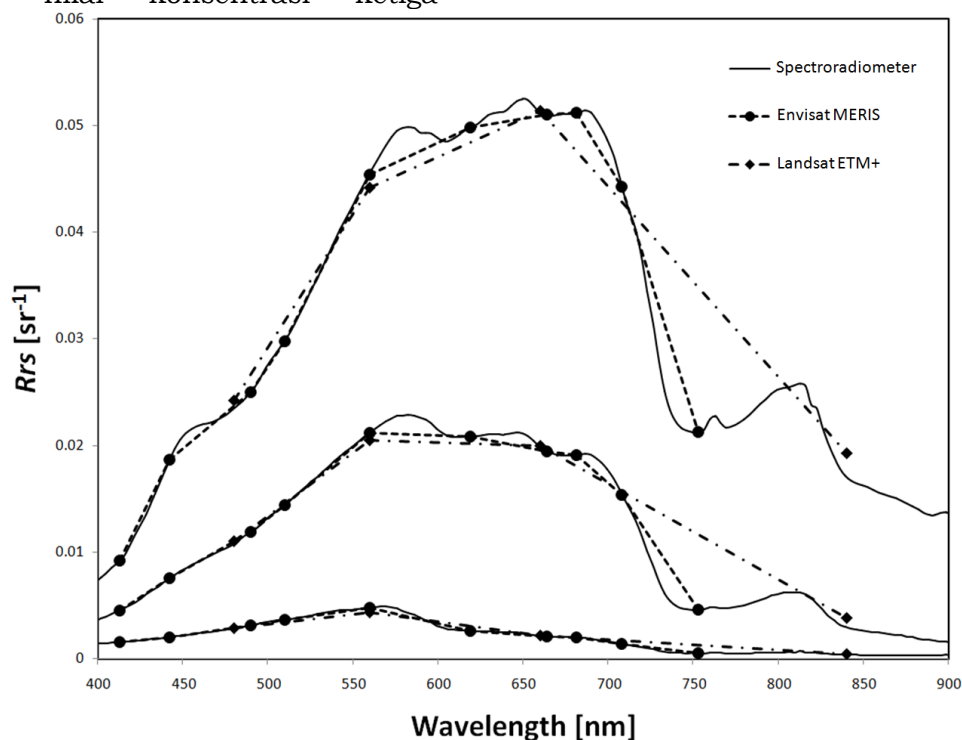
Gambar 3-2 memperlihatkan karakteristik spektral dari pengukuran spektorradiometer yang ditumpang-tindihkan dengan karakteristik spektral yang telah dirubah ke dalam jumlah kanal Landsat ETM+ dan Envisat MERIS. Terlihat perubahan nilai konsentrasi TSM masih dapat diprediksi dengan semakin meningkatnya nilai karakteristik spektral. Perubahan nilai konsentrasi CDOM juga tidak terlalu dipengaruhi oleh keberadaan kanal yang semakin sedikit. Namun, terlihat pada posisi panjang gelombang serapan chlorophyll (sekitar 660-700 nm) untuk kanal Landsat ETM hanya diwakili oleh satu kanal (660 nm), sedangkan untuk kanal Envisat MERIS ada 2 kanal (664 nm dan 681 nm). Perbedaan ini kemungkinan akan memberikan pengaruh terhadap kemampuan masing-masing sensor tersebut untuk mendeteksi parameter kualitas perairan.

Secara sederhana dapat dijelaskan bahwa proses optimisasi non linear menghitung total selisih jarak antara respon spektral R_{rs} hasil pengukuran (*spectrometer*) dengan R_{rs} prediksi dari data IOP, pada setiap kanal, dengan merubah nilai konsentrasi ketiga

parameter kualitas perairan (TSM, Chl *a* dan CDOM). Apabila total selisih jarak tersebut sudah mendekati atau sama dengan 0 (nol), maka proses akan berhenti dan menghasilkan nilai konsentrasi parameter perairan. Kurva karakteristik spektral yang dihasilkan dari prediksi R_{rs} akan sama dengan kurva karakteristik spektral R_{rs} hasil pengukuran, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3-3. Nilai konsentrasi yang dihasilkan perhitungan optimisasi ini kemudian divalidasi dengan nilai konsentrasi yang dihasilkan dari pengukuran laboratorium.

3.1 Landsat ETM+

Cahaya yang diterima oleh sensor ETM+ akan dirata-ratakan berdasarkan nilai *spectral response* dari setiap kanal yang ada. Dengan prinsip yang sama, maka R_{rs} yang diturunkan dari data hyperspektral pengukuran spektorradiometer (Gambar 3-2) diubah menjadi R_{rs} berdasarkan ketersediaan kanal yang ada pada sensor ETM+. Sehingga, hasil yang didapat merupakan gambaran dari karakteristik spektral (*spectral signature*) yang diterima oleh sensor ETM+ pada satelit Landsat.

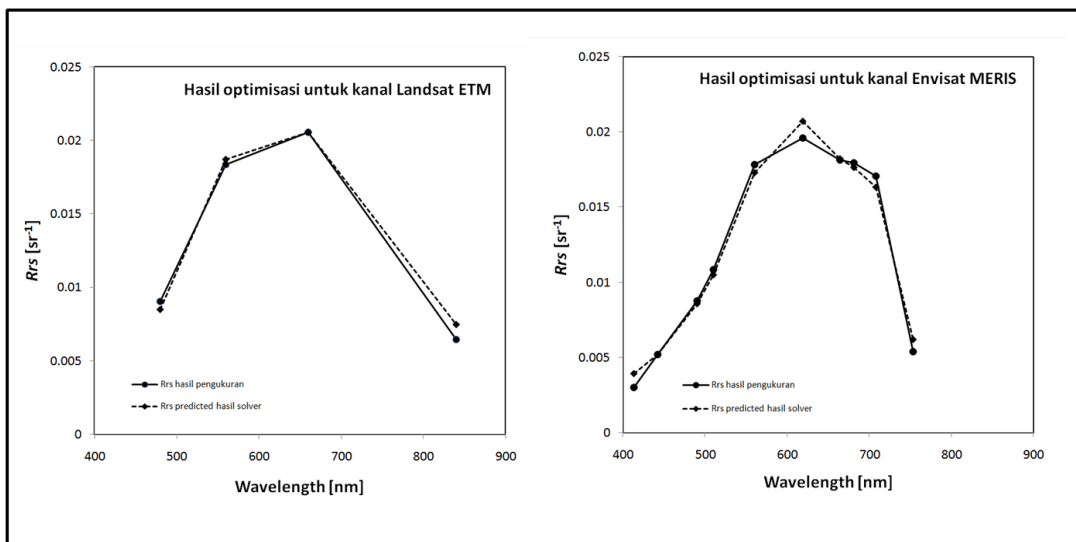


Gambar 3-2: Karakteristik spektral hasil pengukuran spektorradiometer dan hasil perubahannya ke dalam kanal ETM dan MERIS

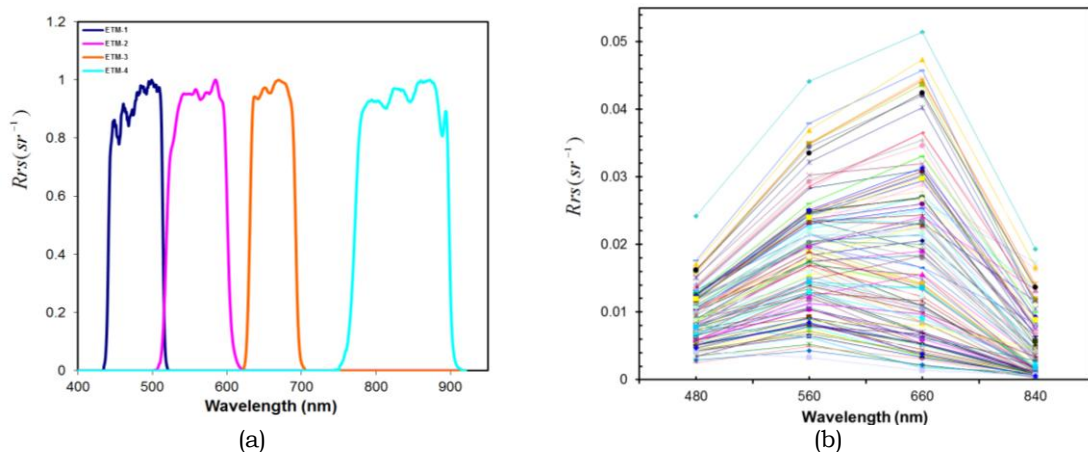
Gambar 3-4a memperlihatkan nilai *spectral responses sensitivity* pada masing-masing kanal di sensor ETM+. Nilai tersebut akan mempengaruhi nilai reflektansi yang diterima oleh sensor pada selang (*range*) kanal tersebut. Gambar 3-4b memperlihatkan karakteristik spektral R_{rs} yang telah dirubah kedalam jumlah kanal sensor ETM+. Apabila kita membandingkan gambar 5b dengan Gambar 3-2, maka akan terlihat beberapa informasi yang hilang pada *spectral signature* tersebut dikarenakan keterbatasan kanal yang digunakan oleh sensor ETM+, terutama informasi yang diakibatkan oleh serapan *chlorophyll* pada panjang gelombang 660-700 nm.

Nilai—yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran

seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3-5. Dari pengukuran tersebut, terlihat bahwa untuk konsentrasi TSM dan CDOM, nilai yang dihasilkan cukup significant ($p < 0.001$) dengan koefisien determinasi (R^2) lebih besar dari 0.6, dan nilai RMSE masing-masing 19.89 gm^{-3} (TSM) dan 0.29 m^{-1} (CDOM). Sedangkan untuk Chl *a*, koefisien determinasi yang didapat hanya 0.46, dengan nilai RMSE 4.96 mg m^{-3} . Hilangnya informasi *spectral response* pada panjang gelombang yang dipengaruhi oleh serapan *chlorophyll* (660-700 nm) karena keterbatasan jumlah kanal, mengakibatkan tidak dapatnya estimasi nilai konsentrasi Chl *a* dengan lebih baik dibandingkan dengan hasil estimasi parameter lainnya.



Gambar 3-3: Contoh hasil analisa optimisasi non linear dengan *best fit curve*



Gambar 3-4: (a) *spectral response sensitivity* masing-masing kanal sensor ETM+, (b) R_{rs} yang dirubah berdasarkan jumlah kanal sensor ETM+

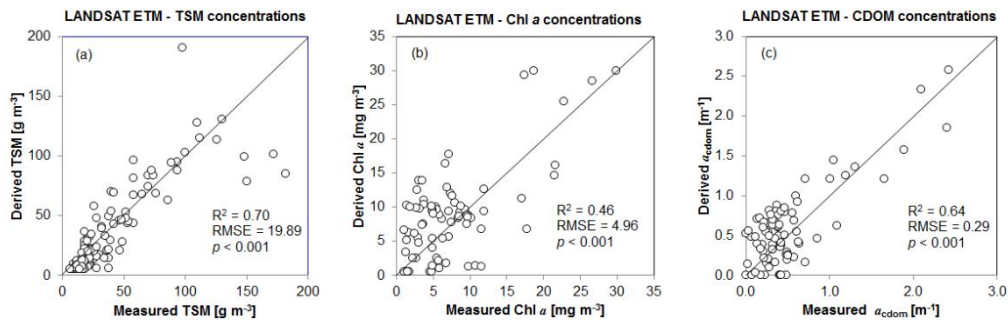
3.2 Envisat MERIS

Berdasarkan prinsip yang sama yang digunakan pada sensor ETM+, maka nilai R_{rs} yang diturunkan dari data spectroradiometer juga dirubah berdasarkan nilai *spectral responses sensitivity* masing-masing kanal dan jumlah kanal yang ada pada sensor MERIS.

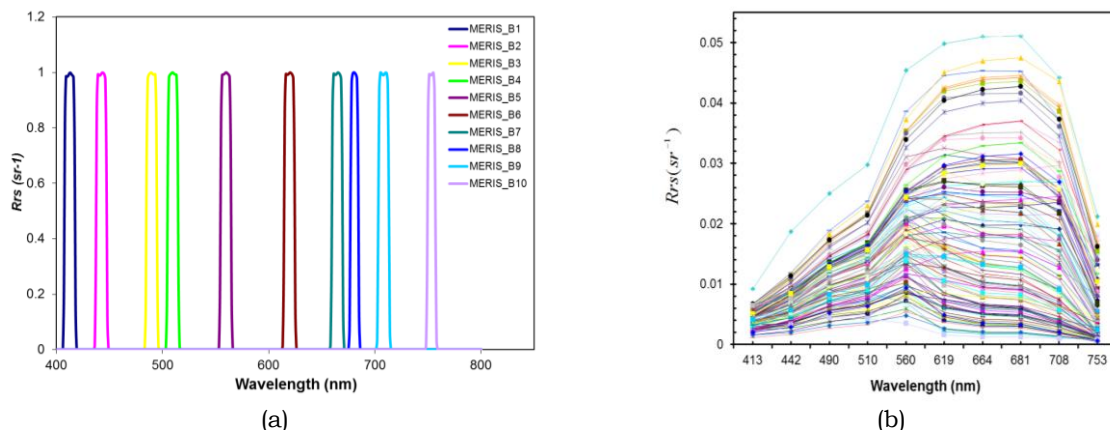
Gambar 3-6a memperlihatkan nilai *spectral responses sensitivity* pada masing-masing kanal di sensor MERIS, sedangkan Gambar 3-6b memperlihatkan karakteristik spektral R_{rs} yang telah diubah kedalam jumlah kanal sensor MERIS. Dikarenakan jumlah kanal MERIS lebih banyak dari pada kanal ETM, maka karakteristik spektral yang diperlihatkan pada kanal MERIS (Gambar 3-6b) memberikan bentuk kurva yang lebih mendekati kurva karakteristik spektral hasil pengukuran spectroradiometer (Gambar 3-2).

Gambar 3-7 memperlihatkan hasil perbandingan nilai estimasi dengan sensor MERIS dan hasil pengukuran. Terlihat terdapat perbaikan nilai estimasi

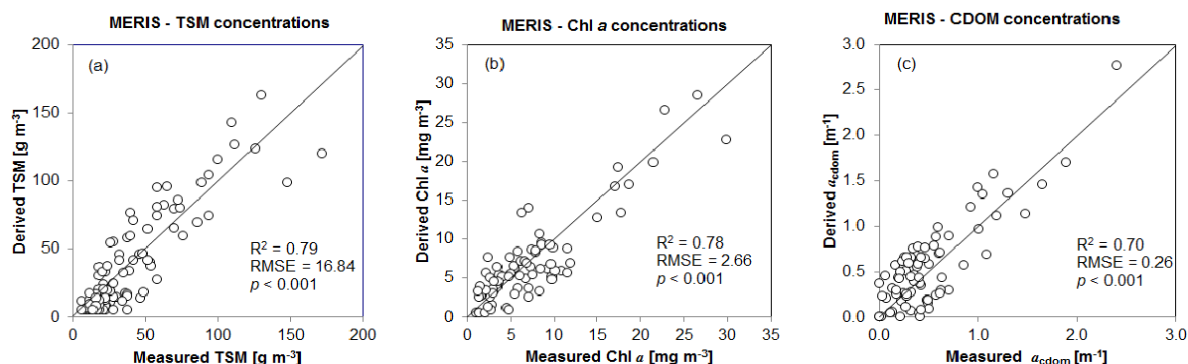
dibandingkan dengan menggunakan hanya 4 kanal seperti pada sensor ETM+ (Gambar 3-3). Seluruh hasil perbandingan memberikan nilai yang signifikan ($p < 0.001$) dengan koefisien determinasi (R^2) lebih besar dari 0.70, dan nilai RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai RMSE dari sensor ETM+. Nilai RMSE dari sensor MERIS adalah 16.84 gm^{-3} (TSM), 2.66 mg m^{-3} (Chl a) dan 0.26 m^{-1} (CDOM). Kelebihan sensor MERIS ini dikarenakan sensor MERIS dirancang untuk tujuan observasi perairan laut lepas (ESA, 2006). Apabila dibandingkan dengan kanal-kanal pada Landsat ETM yang lebih ditujukan pada observasi daratan (NASA, 2012), kanal-kanal yang ada pada sensor MERIS lebih ditempatkan pada puncak panjang gelombang serapan dan hamburan dari parameter perairan yang mempengaruhi cahaya dalam kolom air (ESA, 2006). Akan tetapi, kelebihan dari sensor ETM+ dibandingkan sensor MERIS adalah resolusi spasialnya, yang tentunya memberikan kelebihan lain untuk analisa kualitatif dengan interpretasi visual.



Gambar 3-5: Validasi nilai konsentrasi yang dihasilkan (*derived*) dari sensor ETM+, dengan nilai konsentrasi hasil pengukuran (*measured*)



Gambar 3-6: (a) *spectral response sensitivity* masing-masing kanal sensor MERIS, (b) R_{rs} yang dirubah berdasarkan jumlah kanal sensor MERIS



Gambar 3-7: Validasi nilai konsentrasi yang dihasilkan (*derived*) dari sensor MERIS, dengan nilai konsentrasi hasil pengukuran (*measured*)

4 KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa jumlah kanal pada sensor satelit dapat mempengaruhi estimasi nilai konsentrasi parameter kualitas perairan. Selain jumlah kanal, faktor lain adalah penempatan kanal pada panjang gelombang yang menerima *response* spektral pada puncak serapan dan hamburan juga mempengaruhi keberhasilan estimasi nilai konsentrasi.

Data hyperspektral spektrometri yang diubah kedalam jumlah kanal sensor ETM+ (4 kanal) hanya dapat memberikan informasi lebih baik untuk konsentrasi TSM ($R^2=0.70$) dan CDOM ($R^2=0.64$). Sedangkan untuk analisa Chl *a* hanya memberikan nilai koefisien determinasi (R^2) 0.46. Sementara data hyperspektral spektrometri yang diubah kedalam jumlah kanal sensor MERIS (10 kanal) memberikan informasi konsentrasi TSM, CDOM dan Chl *a* lebih baik, dengan koefisien determinasi (R^2) lebih besar dari 0.70. Selain itu, sensor MERIS juga memperlihatkan estimasi kesalahan lebih kecil dibandingkan sensor ETM+, dimana nilai RMSE dengan sensor MERIS (16.84 gm^{-3} (TSM), 2.66 mg m^{-3} (Chl *a*) dan 0.26 m^{-1} (CDOM)) lebih kecil dibandingkan dengan nilai RMSE dari sensor ETM+ (19.89 gm^{-3} (TSM), 4.96 mg m^{-3} (Chl *a*) dan 0.29 m^{-1} (CDOM)).

Hasil penelitian ini juga memperlihatkan perlunya pengukuran dengan spektrometri di lapangan, sehingga dapat dilakukan permodelan

awal untuk melihat kebutuhan kanal yang dapat memberikan informasi lebih baik untuk analisa kuantitatif menggunakan *bio-optical model*. Selain itu juga, hasil pengukuran-spektrometri ini dapat dijadikan sebagai validasi dari data yang diterima oleh sensor satelit apabila pengukuran lapangan bersamaan waktunya dengan pemantauan oleh sensor yang dimaksud.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *the Foundation for the Advancement of Tropical Research* (WOTRO)- *Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences* (KNAW) yang mendukung pendanaan untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada *Faculty of Geo-Information Science and earth Observation* (ITC), Twente University, Belanda, terutama Dr. Suhyb Salama, Dr. Zoltan Vekerdy dan Prof. Wouter Verhoef, yang memberikan kesempatan kepada penulis untuk mempelajari *bio-optical model*. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Mahakam Cluster team dan teman-teman mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman yang mendukung penulis saat pengukuran lapangan. Terima kasih juga ditujukan kepada Dr. Vincentius Siregar yang telah memberikan masukan untuk perbaikan tulisan ini.

DAFTAR RUJUKAN

Ambarwulan, W., Salama, M. S., Mannaerts, C. M., and W.

- Verhoef, 2011, "Estimating Specific Inherent Optical Properties of Tropical Coastal Waters Using Bio-Optical Model Inversion and in Situ Measurements: Case of The Berau Estuary, East Kalimantan, Indonesia", *Hydrobiologia*, Vol.658, No.1, pp.197-211. doi: 10.1007/s10750-010-0473-7
- Ambarwulan, W., Verhoef, W., Mannaerts, C. M., and M.S. Salama, 2012, "Estimating Total Suspended Matter Concentration in Tropical Waters of The Berau Estuary, Indonesia", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.33(16), pp.4919-4936.
- Bowers, D. G., Md-Suffian, I., and E.G. Mitchelson-Jacob, 2012, "Bio-Optical Properties of East Coast Malaysia Waters in Relation To Remote Sensing Of Chlorophyll", *International Journal of Remote Sensing*, Vo.33, No.1, pp.150-169.
- Bricaud, A., Morel, A., and L. Prieur, 1981, "Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains", *Limnology and Oceanography*, Vol.26, No.1, pp.43-53.
- Budhiman, S., 2004. *Mapping TSM Concentrations From Multisensor Satellite Images in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahakam Delta, Indonesia*. MSc Thesis, International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC), Enschede.
- Budhiman, S., Salama, M. S., Vekerdy, Z., and W. Verhoef, 2012, "Deriving Optical Properties of Mahakam Delta Coastal Waters, Indonesia using in situ measurements and ocean color model inversion", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.68, pp.157-169.
- Campbell, G., Phinn, S. R., & Daniel, P., 2011, "The Specific Inherent Optical Properties of Three Sub-Tropical and Tropical Water Reservoirs in Queensland, Australia", *Hydrobiologia*, Vol. 658, No.1, pp.233-252.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., and A.D. Eaton, 1998, *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water (20th Edition)* (20th Edition ed.). Washington, DC: American Public Health Association.
- ESA, 2006. *MERIS Product Handbook*, European Space Agency.
- Gordon, H. R., 1987, "Bio-Optical Model Describing The Distribution of Irradiance at The Sea Surface Resulting From a Point Source Embedded in The Ocean", *Applied Optics*, Vol.26, No.19, pp.4133-4148.
- Gordon, H. R., Brown, O. B., Evans, R. H., Brown, J. W., Smith, R. C., Baker, K. S., and D.K. Clark, 1988, "A Semianalytic Radiance Model of Ocean Color", *Journal of Geophysical Res.*, Vol.93(D9), pp.10909-10924.
- Hecht, E., 2002. *Optics (4th Edition)*: Addison-Wesley.
- Hendiarti, N., 2003. *Investigations on Ocean Color Remote Sensing in Indonesian Waters Using SeaWiFS*. Phd Phd Universiteit Riostock.
- Herold, M., Gardner, M. E., and D.A. Roberts, 2003, "Spectral Resolution Requirements for Mapping Urban Areas", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.41(9), pp.1907-1919.
- Kilham, N. E., Roberts, D. A., and M.B. Singer, 2012, "Remote Sensing of Suspended Sediment Concentration During Turbid Flood Conditions on The Feather River, California - a modeling

- approach", *Water Resources Research*, Vol.48, 18p.
- Kirk, J. T. O., 1984, "Dependence of Relationship Between Inherent and Apparent Optical Properties of water on Solar Altitude", *Limnology and Oceanography*, Vol.29, No.2, pp.350-356.
- Kirk, J. T. O., 1994, *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*, New York: Cambridge Univ. Press.
- Kopelevich, O. V., 1983, "Small-Parameter Model of Optical Properties of Sea Waters", In A. S. Monin (Ed.), *Ocean Optics, Vol 1. Physical Ocean Optics* pp. 208-234.
- Lee, Z.-P., Darecki, M., Carder, K., Davis, C., Stramski, D., and W. J. Rhea, 2005, "Diffuse Attenuation Coefficient of Downwelling Irradiance: an Evaluation of Remote Sensing Methods" *Journal of Geophysical Research*, 110.
- Lee, Z., Carder, K. L., and R. A. Arnone, 2002, "Deriving Inherent Optical Properties From Water Color: a Multiband Quasi-Analytical Algorithm for Optically Deep Waters", *Applied Optics*, Vol.41(27), pp.5755-5772.
- Lee, Z., Carder, K. L., Mobley, C. D., Steward, R. G., and J.S. Patch, 1998, "Hyperspectral Remote Sensing for Shallow Waters. I. A Semianalytical Model.", *Applied Optics*, Vol.37(27), pp.6329-6338.
- Maritorena, S., Siegel, D. A., and A. R. Peterson, 2002, "Optimization of a Semianalytical Ocean Color Model for Global-Scale Applications", *Applied Optics*, Vol.41(15), pp.2705-2714.
- Mélin, F., Zibordi, G., and J.F. Berthon, 2007, "Assesment of Satellite Ocean Color Products at a Coastal Site", *Remote Sensing of Environment*, Vol.110, pp.192-215.
- Mobley, C. D., 1994, *Light and water radiative Transfer in Natural Waters*, Academic Press.
- Mobley, C. D., 1999, "Estimation of The Remote Sensing Reflectance From Above-Surface Measurements', *Applied Optics*, Vol.38(36), pp.7442-7455.
- Morel, A., and S. Maritorena, 2001, "Bio-Optical Properties of Oceanic Waters: a Reappraisal", *Journal of Geophysical Research*, Vol.106(C4), pp.7163-7180.
- Morel, A., and L. Prieur, 1977, "Analysis of Variations in Ocean Color", *Limnology and Oceanography*, Vol.22(4), pp.709-722.
- Mueller, J. L., Davis, C., Arnone, R., Frouin, R., carder, K., Lee, Z. P., and S. Mclean, 2003, "Above-Water Radiance and Remote Sensing Reflectance Measurements And Analysis Protocols" In J. L. Mueller, G. S. Fargion & C. R. McClain (Eds.), *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Rev. 4, Vol. III: Radiometric Measurements and Data Analysis Protocols* (pp.21-31). Greenbelt, Maryland: NASA.
- NASA, 2012. <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/download> 19 December, 2012
- Odermartt, D., Gitelson, A., Brando, V. E., and M. Schaepman, 2012, "Review of Constituent Retrieval in Optically Deep and Complex Waters From Satellite Imagery", *Remote Sensing of Environment*, Vol.118, pp.116-126.
- Pope, R. M., and E.S. Fry, 1997, "Absorption Spectrum (380-700 Nm) Of Pure Water. II. Integrating cavity measurements", *Applied Optics*, Vol.36(33), pp.8710-8723.
- Preisendorfer, R. W., 1976, *Hydrologic Optics. Vol. I. Introduction.*, Honolulu: U.S. Department of Commerce National Oceanic and

- Atmospheric Adm., Environ. Res. Lab.
- Salama, M. S., Dekker, A. G., Su, Z., Mannaerts, C. M., and W. Verhoef, 2009, "Deriving Inherent Optical Properties and Associated Inversion-Uncertainties in The Dutch Lakes", *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol.13(7), pp.1113-1121.
- Shen, F., Salama, M. S., Zhou, Y., Li, J., Su, Z. & Kuang, D., 2010, "Remote Sensing Reflectance Characteristics oh Highly Turbid Estuarine Waters - a Comparative Experiment of The Yangtze River and The Yellow River", *International Journal of Remote Sensing*, Vol.31(10), pp.2639-2654.
- Van der Woerd, H., and R. Pasterkamp, 2002, "A Rigorous Method to Retrieve TSM concentrations From Multi-Temporal Spot Images in Highly-Turbid Coastal Waters", Paper presented at *the Paper on the 11th Australian Remote Sensing and Photogrammetry Conference (ARSPC)*.

