

Kajian Konsentrasi Klorofil-a di Perairan Danau Matano, Mahalano, dan Towuti Menggunakan Data Landsat-7 ETM

Nana Suwargana

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh - LAPAN

Email: nana.suwargana@gmail.com

Abstrak

Penerapan teknologi penginderaan jauh untuk mengkaji kualitas perairan Danau melalui pendeteksian zat-zat organik maupun anorganik yang terlarut dalam perairan seperti, kecerahan, klorofil-a dan muatan padatan terlarut telah banyak dilakukan. Cahaya (*radiance*) berbentuk gelombang elektromagnetik yang dipantulkan (*reflected*) oleh permukaan air Danau dapat dideteksi (*detected*) oleh sensor citra satelit, yang kemudian dapat dihasilkan data konsentrasi klorofil-a. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji konsentrasi klorofil-a di Danau Matano, Mahalano dan Towuti di Sulawesi Selatan dengan data satelit Landsat-7 ETM. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menganalisis dan membandingkan penurunan dari algoritma yang dikembangkan oleh Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991), dan Mayo *et.al* (1995). Analisis dilakukan melalui regresi antara perhitungan reflektansi kanal-kanal data Landsat-7 ETM dari ketiga algoritma tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa: a). Konsentrasi klorofil-a mempunyai nilai relatif tinggi dengan algoritma Wouthuyzen (1991) jika dibandingkan dengan algoritma Wibowo *et.al* (1994) dan algoritma Mayo *et.al* (1995) nilainya lebih rendah, namun ketiganya memiliki kemiripan pola; b). Hasil penurunan regresi antara perhitungan reflektansi kanal-kanal data Landsat-7 ETM dari model Wouthuyzen (1991) dan Mayo *et.al* (1995) diperoleh bentuk fungsi baru (WoutMayo) $y = 0,0704 x + 0,1658$ dengan koefisien determinasi (R)=1, algoritma ini cukup signifikan untuk dilakukan penelitian berkelanjutan; c). Sebaran klorofil-a yang diperoleh melalui perhitungan persamaan algoritma WoutMayo dan Mayo *et.al* (1995) nampak keduanya menunjukkan pola kesetaraan yang sama.

Kata kunci : klorofil-a, citra Landsat-7 ETM, regresi, pantulan.

Abstract

Application of remote sensing technology to assess water quality of the lake through the detection of organic substances and inorganic dissolved in water such as, brightness, chlorophyll-a and dissolved solids loads have been carried out. Electromagnetic wave-shaped light reflected by the surface of the lake water can be detected by the sensor of satellite image, which can then be generated chlorophyll-a concentration data. The purpose of this study is to assess the



concentration of chlorophyll-a in Lake Matano, Mahalano and Towuti in South Sulawesi with satellite data of Landsat-7 ETM. The method used in this study is by analyzing and comparing the decline of the algorithm developed by Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991), and the Mayo *et.al* (1995). The analysis was performed through a regression between reflectance calculation canals Landsat-7 ETM of the three algorithms. The analysis showed that: a).The concentration of chlorophyll-a have a relatively high value of the algorithm Wouthuyzen (1991) when compared with the algorithm Wibowo *et.al* (1994) and Mayo algorithm *et.al* (1995) the value is lower, but all three have similar pattern b). Results of regression between the decrease in reflectance calculations canals Landsat-7 ETM Wouthuyzen model (1991) and Mayo *et.al* (1995) obtained a new function form (WoutMayo) $y = 0.0704 x + 0.1658$ with a coefficient of determination (R)=1, this algorithm is quite significant for ongoing research, c). Distribution of chlorophyll-a is obtained by calculating the equation algorithm and Mayo WoutMayo *et.al* (1995) both appear to show the same pattern of equality.

Keywords : chlorophyll -a , Landsat -7 ETM , regression , reflection.

1. PENDAHULUAN

Parameter yang sangat menentukan produktivitas perairan baik di perairan laut maupun perairan air tawar (Danau) biasanya adalah klorofil-a. Tinggi dan rendahnya sebaran konsentrasi klorofil-a berkaitan langsung dengan kondisi perairan itu sendiri. Beberapa parameter fisika-kimia yang mempengaruhi sebaran klorofil-a adalah intensitas cahaya dan nutrisi (terutama nitrat, fosfat dan silikat). Umumnya sebaran konsentrasi klorofil-a tinggi di perairan Danau sebagai akibat dari tingginya suplai nutrisi yang berasal dari daratan melalui limpasan air sungai. Oleh karena itu ketersediaan nutrisi dan intensitas cahaya matahari di suatu perairan sangat mempengaruhi konsentrasi klorofil-a. Apabila nutrisi dan intensitas cahaya matahari tersedia cukup, maka konsentrasi klorofil-a akan tinggi begitu pula sebaliknya. Perairan di daerah tropis umumnya memiliki konsentrasi klorofil-a yang rendah karena keterbatasan nutrisi dan kuatnya stratifikasi kolom perairan sebagai akibat pemanasan permukaan perairan yang terjadi sepanjang tahun. Sebaran fitoplankton dapat diestimasi dari kandungan klorofilnya melalui teknologi penginderaan jauh yaitu melalui data satelit Landsat. Data satelit Landsat-7 ETM bisa memberikan informasi data perairan berdasarkan sinar pantulan yang terdeteksi oleh sensor satelit Landsat-7 ETM.

Model pemanfaatan data satelit penginderaan jauh untuk kegiatan deteksi klorofil-a telah dipublikasikan dalam banyak paper seperti: Wibowo *et.al* (1994) dalam Halida *et.al* (2010); Wouthuyzen (1991) dalam Pentury. R. *et al* (2009); Mayo *et.al* (1995); Brezonik *et al.* (2002); Kneubühler M. *et al.* (2007) ; Griffin. C. G. (2010); Sebastiá M.T. *et al.* (2012); Zhang. Y. (2010); Luoheng Han. (2002); Jamadar. B. (2013). Brezonik *et al.* (2002) telah membuat model pemetaan klorofil-a dan kecerahan perairan Danau menggunakan data Landsat-7

ETM, dan telah menerapkan model tersebut secara operasional untuk memantau kondisi beberapa Danau di Amerika, demikian juga algoritma dari Wibowo *et.al* (1994) yang dipakai dalam Nuriya.H (2010) telah melakukan penelitian untuk mendeteksi klorofil-a secara operasional untuk wilayah selat Madura. Selain itu, juga Mayo *et.al* (2010) telah membuat model deteksi klorofil-a menggunakan data Landsat-7 ETM, dan telah menerapkan model tersebut secara operasional di Danau Kinneret. Tel-Aviv, Israel, demikian juga Wouthuyzen (1991) yang dikembangkan oleh Pentury. R. *et al* .(2009) telah melakukan penelitian untuk deteksi dan pemetaan klorofil-a secara operasional di Teluk Kayeli, Kabupaten Buru Provinsi Maluku.

Metode pemantauan kualitas air Danau untuk deteksi klorofil-a di Indonesia masih banyak menggunakan pengukuran langsung di lapangan atau analisa laboratorium dari pada memanfaatkan teknologi satelit penginderaan jauh. Model pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh, telah banyak pula model algoritma yang dipublikasikan untuk menentukan ekstraksi klorofil-a baik melalui jurnal nasional maupun jurnal internasional. Untuk daerah-daerah di Indonesia terutama untuk kajian Danau yang menjadi perioritas perlu dikaji dengan menggunakan data Landsat-7 ETM. Hal tersebut perlu dilakukan studi pembandingan dari hasil penurunan algoritma-algoritma tersebut apabila ingin mendapatkan profil klorofil-a untuk suatu perairan yang lebih luas dari pada pengukuran klorofil-a dengan metode dilapangan yang harus menggunakan banyak titik sampel. Tentu saja untuk melakukannya diperlukan waktu yang relatif lama dalam mengumpulkan sampel dan dana yang cukup besar dalam menganalisis dan pengumpulan datanya. Oleh karena itu, teknologi pengukuran klorofil-a menggunakan metode penginderaan jauh banyak berbagai kemudahan dalam melakukan penelitian untuk mengkaji kualitas perairan air tawar khususnya perairan Danau. Salah satunya memudahkan penelitian adalah mudah dilakukan di daerah cakupan yang luas. Selanjutnya dengan menggunakan analisis Land Satellite (*Landsat*) dapat didapatkan profil sebaran klorofil-a secara *real time*. Sebagai contoh aplikasi penginderaan jauh untuk pendeteksian, pemantauan dan inventarisasi terhadap klorofil-a, suhu permukaan air, kekeruhan dan lain sebagainya memiliki banyak kelebihan dibanding dengan cara konvensional.

Dari kesemua algoritma-algoritma yang telah diturunkan oleh para peneliti, dalam penelitian ini telah dilakukan kajian menggunakan data Landsat-7 ETM. Dalam penelitian disini dicoba melakukan studi banding dari model algoritma: Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991), dan Mayo *et.al* (1995). Sedangkan untuk algoritma-algoritma yang lainnya akan dilakukan untuk tahun penelitian berikutnya. Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian estimasi konsentrasi klorofil-a di perairan Danau Matano, Mahalano dan Towuti di Sulawesi Selatan dengan menggunakan data penginderaan jauh citra satelit Landsat-7 ETM. Metode penelitian yang dilakukan adalah menurunkan dan menganalisis algoritma yang telah dikembangkan oleh Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991), dan Mayo



et.al (1995) serta melakukan studi banding dari ketiga penurunan algoritma tersebut dengan membuat persamaan regresi antara perhitungan reflektansi kanal-kanal data Landsat-7 ETM. Hasil kajian diharapkan dapat digunakan oleh pihak-pihak terkait sebagai alternatif pengganti metode pengukuran lapangan. Pengukuran lapangan hanya digunakan untuk pembangunan metode dan verifikasi hasil. Serta untuk mendukung model pembuatan peta sebarannya.

2. METODOLOGI

2.1 Data dan Lokasi Penelitian

Data yang digunakan adalah Citra Landsat-7 ETM dengan posisi citra pada path/row: 113/062. Data set citra yang diakuisisi tanggal 17 Oktober 1997 mencakup didalamnya perairan Danau Matano, Danau Mahalano, dan Danau Towuti yang terletak di Kecamatan Nuha, Sorowaka, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Data set citra Landsat-7 ETM (daerah kajian) tersusun oleh kanal-kanal 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 dengan resolusi spasial 30 meter lihat Tabel 1.

Tabel 1. Saluran spektral yang digunakan dalam sistem data Landsat-7 ETM dan karakteristiknya

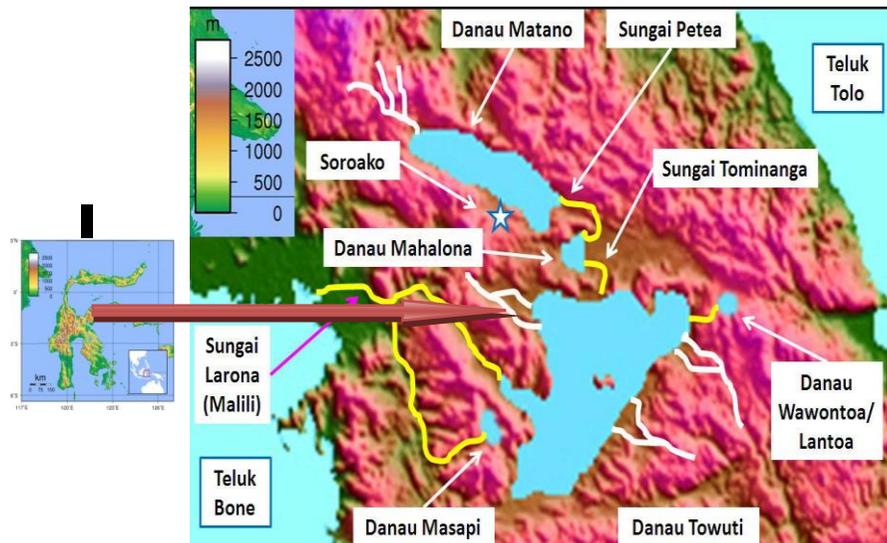
Kanal	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi Spasial (m)	Karakteristik
1 (biru)	0,45-0,51	30	Penetrasi maksimum pada air berguna untuk pemetaan batimetri perairan dangkal
2 (hijau)	0,52-0,60	30	Berfungsi untuk mengindera puncak pantulan vegetasi.
3 (merah)	0,63-0,69	30	Berfungsi untuk membedakan absorpsi klorofil dan tipe vegetasi.
4 (Inframerah dekat)	0,75-0,90	30	Untuk menentukan kandungan biomas, tipe vegetasi, pemetaan garis pantai.
5 (Infra-merah tengah I)	1,55-1,75	30	Menunjukkan kandungan kelembaban tanah dan kekontrasan tipe vegetasi.
6 (Infra-merah thermal)	10,4 – 12,5	30	Untuk mendeteksi gejala alas yang berhubungan dengan panas.
7 (Infra-merah tengah II.)	2,09-2,35	30	Rasio antara kanal 5 dan 7 untuk pemetaan perubahan batuan secara hidrotermal dan sensitive terhadap kandungan kelembaban vegetasi
8 (Pankromatik)	0,52-0,90	15	Bermanfaat untuk identifikasi obyek lebih detail.

Sumber: Landsat-7 ETM: Eros Data Center (1995).

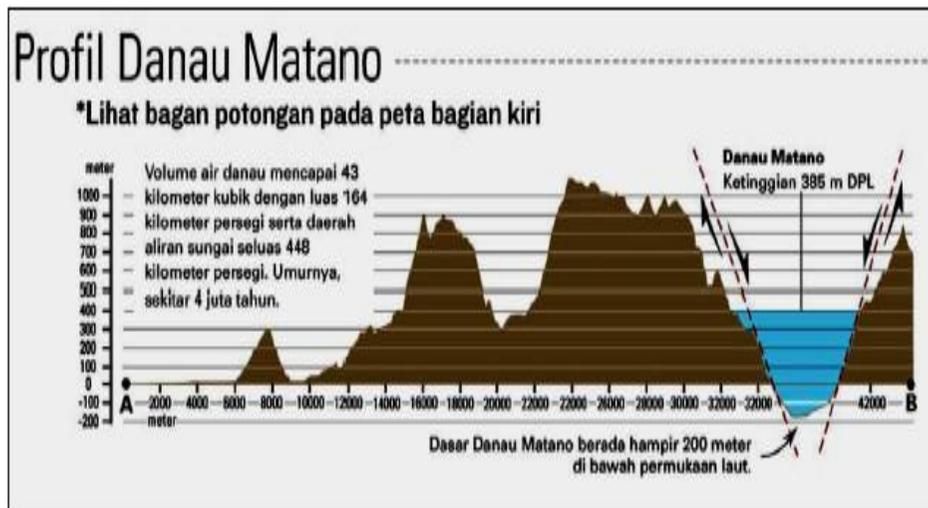
Data sekunder yang digunakan dlm penelitian ini adalah peta letak topografis dan profil danau Matano, danau Mahalona dan danau Towuti. Contoh data sekunder peta topografis yang digunakan diperlihatkan pada (Gambar 1) dan profil danau Matano diperlihatkan pada (Gambar 2).

Secara geografis lokasi kajian untuk Danau Matano terletak pada koordinat : $2^{\circ} 29' 45''$ LU $121^{\circ} 20' 35''$ BT, Danau Mahalona terletak pada koordinat : $2^{\circ} 29' 7''$ LU $121^{\circ} 20' 03''$ BT, dan Danau Towuti terletak pada koordinat : $2^{\circ} 45' 0''$ LU $121^{\circ} 30' 0''$ BT ditunjukkan pada (Gambar 1). Luas Danau Matano berkisar 16.408 hektar dengan sumbu memanjang 28 km pada arah timur barat (*limnologi.lipi.go.id*). Posisi dasar Danau ini sangat khas karena letaknya lebih rendah dari permukaan laut memiliki kedalaman berkisar 595 meter dengan letak dasar dananya berada pada 203 meter di bawah permukaan laut (Gambar 2). Danau Matano merupakan Danau terdalam di Asia Tenggara bahkan terdalam kedelapan di dunia. Pembentukan Danau Matano bukan merupakan pembentukan dari beberapa anak sungai, tetapi terbentuk karena dari ribuan mata air yang muncul akibat gerakan tektonik; lipatan dan patahan kerak bumi yang terjadi di sekitar daerah litosfir yang membutuhkan waktu lama untuk terisi oleh air dan membentuk danau sekitar 4 juta tahun yang lalu (*limnologi.lipi.go.id*). Sehingga danau ini tidak akan pernah mengalami kekeringan dan airnya sangat jernih. Karena kejernihannya maka kecerahan air yang mencapai berkisar 23 meter sehingga sangat menggoda untuk olahraga *snorkling* dan *diving*. Di Danau Matano juga terdapat berbagai jenis flora dan fauna endemik yang masih terjaga dengan baik. Flora dan fauna endemik adalah makhluk hidup yang hanya ditemui di suatu tempat dan tidak ditemukan di tempat yang lain. Sedangkan Danau Mahalona dan Danau Towuti terbentuk dibagian selatan Danau Matano. Kedalaman Danau Mahalona berkisar 60 meter dengan luas 2.440 hektar dan Danau Towuti mempunyai kedalaman berkisar 200 meter dengan luas 56.108 hektar. Pergerakan arus air yang mengalir dari Danau Matano dialirkan melalui sungai Larona ke Danau Mahalona kemudian ke Danau Towuti dan selanjutnya menuju muara melalui sungai Malili dan berakhir di Laut Bone. Sungai inilah yang menjadi penggerak PLTA Larona dan PLTA Balambano dan PLTA Karebbe.

Topografis dan kondisi penutup lahan di danau Matano sebagai pemanfaatan lahan dominan sekitar perairan Danau adalah hutan alam yang berada di bagian timur, utara dan barat danau. Penutup lahan Danau. Permukiman yang pemanfaatannya berada di bagian selatan terutama di Solosa yang secara mengelompok. Lahan ladang terdapat disekitar permukiman karena merupakan bagian mata pencaharian penduduk di sekitar Danau. Terdapat pula keberadaan lahan terbuka yang pemanfaatannya berada disebelah timur Danau.



Gambar 1. Peta Letak Topografi Danau Matano, Mahalona, dan Towuti. Garis kuning menunjukkan sistem sungai yang menghubungkan masing-masing danau dan menjadi satu sebelum bermuara ke Teluk Bone. Garis putih menunjukkan sungai penyuplai air (river inlet). Dari peta topografi di atas terlihat bahwa seluruh danau dikelilingi oleh bukit-bukit dengan ketinggian 500-700 m. (Sumber: <http://upload.wikimedia.org>)



Gambar 2. Profil Danau Matano kedalamannya lebih rendah dari permukaan laut memiliki kedalaman berkisar 595 meter dengan letak dasar Dananya berada pada 203 meter di bawah permukaan laut. (Sumber: limnologi.lipi.go.id)

2.2 Metode

Pengolahan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menentukan estimasi konsentrasi klorofil-a berdasarkan data Landsat-7 ETM. Tahapan metode penelitian pertama yaitu menganalisis dan membandingkan penurunan dari algoritma Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991), dan Mayo *et.al* (1995) dari citra Landsat-7 ETM, kedua menentukan persamaan regresi dari hubungan antara reflektansi kanal-kanal ETM dari perhitungan algoritma Wibowo *et.al* (1994) terhadap reflektansi kanal-kanal ETM dari perhitungan algoritma Wouthuyzen (1991), atau Mayo *et.al* (1995) dan sebaliknya. Tahapan pengolahan meliputi pengolahan awal serta ekstraksi klorofil-a.

2.2.1 Pengolahan awal (*Pre-processing*)

Pengolahan citra dilakukan dengan software ERDAS ER Mapper Versi 7.2. Sebelum melakukan pengolahan dan analisis citra, terlebih dahulu dilakukan koreksi geometrik citra dengan tujuan agar citra dapat mempunyai koordinat yang sama dengan koordinat peta yang dikeluarkan oleh Bakosurtanal. Kemudian dilakukan overlay antara kanal (membuat citra gabungan/citra RGB) dan penajaman serta analisis visual dengan tujuan untuk mengidentifikasi obyek air Danau. Setelah melakukan koreksi geometrik dilakukan koreksi radiometrik, dan koreksi atmosfer.

Koreksi geometrik dilakukan dengan metode registrasi (*image to image*). Citra acuannya adalah citra georeferensi yang telah terkoreksi dengan koordinat peta dari Bakosurtanal. Penyamaan posisi ini dimaksudkan agar posisi piksel citra original menjadi sama dengan citra terkoreksi. Jadi proses registrasi citra ke citra disini melibatkan proses georeferensi apabila citra acuannya sudah terkoreksi. Transformasi koordinat pada citra menggunakan model polinomial. Pada persamaan polinomial dengan orde-t, maka jumlah minimal GCP (Ground Control Point) yang diperlukan (n) mengikuti (persamaan 1).

$$n = \frac{(t+1)(t+2)}{2} \quad (1)$$

Dimana; n = jumlah GCP yang dibutuhkan
t = orde persamaan yang diterapkan

Langkah selanjutnya dilakukan perhitungan *Root Mean Square Error*/RMSE (persamaan 2) dan *Standard Deviation*/STD (persamaan 3) hasil transformasi koordinat sehingga dapat diketahui kepresisian datanya. Minimal besarnya nilai RMSE yang dapat diterima adalah sebesar 0.5 piksel. Formula RMSE dan STD:

$$RMSE = \sqrt{\frac{(x' - x_{origin})^2 + (y' - y_{origin})^2}{n}} \quad (2)$$

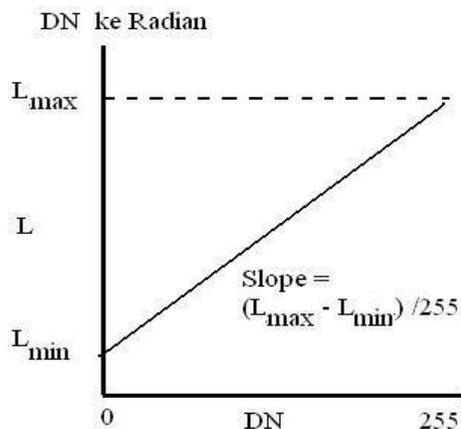


$$\sigma_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((x_{origin} - x')^2 + (y_{origin} - y')^2)}{n-u}} \quad (3)$$

Dengan:

- x', y' = koordinat citra hasil koreksi
- $(x, y)_{origin}$ = koordinat GCP pada bidang referensi
- n = jumlah GCP

Koreksi radiometrik ditujukan untuk memperbaiki nilai piksel supaya sesuai dengan yang seharusnya, biasanya mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai kesalahan utama. Pada koreksi ini, diasumsikan bahwa nilai piksel terendah pada suatu kerangka liputan (*scene*) seharusnya nol, sesuai dengan *bit-coding* sensor. Apabila nilai terendah piksel pada kerangka liputan tersebut bukan nol, maka nilai penambah (*offset*) tersebut dipandang sebagai hasil dari hamburan atmosfer. Fungsi dari koreksi radiometrik adalah untuk menghilangkan kesalahan radiometrik (*radiometric error*) yang disebabkan oleh aspek eksternal berupa gangguan atmosfer pada saat proses perekaman. Biasanya gangguan atmosfer ini dapat berupa serapan, hamburan, dan pantulan yang menyebabkan nilai piksel pada citra hasil perekaman tidak sesuai dengan nilai piksel obyek sebenarnya di lapangan. Kesalahan radiometrik pada citra dapat menyebabkan kesalahan interpretasi terutama jika interpretasi dilakukan secara digital yang mendasarkan pada nilai piksel. Sehingga, koreksi radiometrik ini sangat penting untuk dilakukan agar hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan. Koreksi radiometrik dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah penyesuaian regresi, penyesuaian histogram, dan kalibrasi bayangan. Proses koreksi dilakukan dengan merubah nilai digital piksel menjadi nilai radian (radiasi dari objek ke sensor). Persamaan konversi DN (Nilai Digital) ke Radian diperlihatkan pada (persamaan 4) pada (Gambar 3) dan setelah dimasukan slope ke persamaan 4, diperoleh koreksi radiometrik (persamaan 5).



Gambar 3. Konversi DN ke Radian

Bentuk konversi DN ke Radian adalah :

$$L = G \times DN + B \quad (4)$$

Dimana:

- DN = Nilai digital
- G = Gradien (kanal gain)
- L = Radian di atas atmosfer
- B = Titik potong (kanal offset)

Untuk koreksi radian citra Landsat:

$$L = [(L_{\max} - L_{\min}) / 255] \times DN + L_{\min} \quad (5)$$

Dimana:

- L_{\max} = radian maksimum pada kanal (1-7)
- L_{\min} = radian minimum pada kanal (1-7)

Koreksi atmosfer menggunakan model 6s (*Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum*) yang diunduh dari (<http://6s.ltdri.org/>). Model 6s menghitung nilai global transmittance dan total scattering transmittance berdasarkan informasi kondisi atmosfer pada saat data direkam. Nilai koefisien yang dihasilkan model 6s dapat digunakan untuk menghitung nilai reflectance perairan yang telah bebas dari pengaruh kondisi atmosfer. Tahap terakhir melakukan normalisasi antar waktu sehingga perbedaan nilai spektral pada data yang berlainan waktu dan berlainan sensor dapat dikurangi atau dihilangkan. Cara melakukan koreksi atmosfer adalah memasukan website : <http://www.6s.ltdri.org> kemudian siapkan header file dari data Landsat-7 ETM dimana input yang dimasukan diantaranya : jenis sensor, tanggal dan waktu perekaman, latitude dan longitude pada titik pusat citra, dan visibility dari atmosfer.

Dengan memasukan input data Landsat-7 ETM ke model 6S dan mengunduh <http://6s.ltdri.org/> diperoleh parameter-parameter koreksi atmosfer *acr* (*Atmospheric Correction Result*) :

```
*****
                        atmospheric correction result
                        -----
input apparent reflectance      :    0.000
measured radiance [w/m2/sr/mic] :    0.000
atmospherically corrected reflectance
Lambertian case :             -0.10217
BRDF case      :             -0.10217
coefficients xa xb xc          :  0.00246  0.10054  0.15892
y=xa*(measured radiance)-xb;  acr=y/(1 +xc*y)
*****
```



Dari *output atmospheric correction* (arc) diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y = xa(\text{radiasi yang diukur}) - xb = (xa * L) - xb \quad (6)$$

dan koreksi atmosfer:

$$\text{arc} = y / (1 + xc * y) \quad (7)$$

Dimana:

xa, xb, xc = koefisien koreksi atmosfer

L = Koreksi radiometrik citra Landsat (kanal 1-7).

2.2.2 Ekstraksi informasi klorofil-a

Klorofil-a yang terdeteksi oleh citra pada dasarnya merupakan pigmen yang terkandung dalam tubuh fitoplankton yang merupakan produsen primer di dalam perairan. Informasi klorofil-a tersebut dapat dianalisis berdasarkan sinar pantulan (*reflectance*) yang terdeteksi oleh sensor. Hubungan radiansi spektral kanal tunggal dari tubuh air dengan konsentrasi klorofil-a sangat rendah, sehingga untuk pendugaan konsentrasi klorofil-a dapat digunakan ratio kanal biru (*range*: 0,45 – 0,51 μm) dan kanal hijau (*range*: 0,52 – 0,60 μm). Seperti yang dikembangkan oleh Wouthuyzen (1991) dalam Pentury. R. *et al* (2009) menggunakan kanal biru (*range*: 0,45 – 0,51 μm) dan kanal hijau (*range*: 0,52 – 0,60 μm), Mayo *et al* (1995) pengembangannya menggunakan kanal biru (*range*: 0,45 – 0,51 μm), kanal hijau (*range*: 0,52 – 0,60 μm) dan kanal infra merah (*range*: 0,63-0,69 μm). Bahkan beberapa peneliti lainnya seperti Wibowo *et al* (1994) dalam Halida *et al* (2010) menggunakan kanal infra merah (*range*: 0,63 – 0,69 μm), kanal infra merah dekat (*range*: 0,75 – 0,90 μm) dan kanal Infra-merah tengah I (*range*: 1,55- 1,75 μm); Kneubühler M. *et al.* (2007) menggunakan ratio kanal biru, kanal merah dan kanal hijau yaitu model : $([0.45, 0.52 \mu\text{m}] - [0.63, 0.69 \mu\text{m}]) / [0.52, 0.60 \mu\text{m}]$; Griffin. C. G. (2010) menggunakan kanal 1-4 yaitu, (biru: 0.45-0.52 μm , hijau: 0.52-0.60 μm , merah: 0.63-0.69 μm , infra merah dekat: 0.67-0.90 μm); Zhang. Y. (2010); menggunakan ratio kanal maksimum, yang dihitung sebagai maksimum dari ratio reflektansi tiga kanal pada panjang gelombang 0.443, 0.490, 0.520, dan 0.564 μm ($\rho_{0.443} / \rho_{0.565}$, $\rho_{0.490} / \rho_{0.565}$, $\rho_{0.520} / \rho_{0.565}$) dapat digunakan untuk estimasi klorofil-a; Luoheng Han. (2002) melakukan pendekatan model dengan kanal biru 0.45-0.52 μm , hijau 0.52-0.60 μm , merah 0.6-0.69 μm dan infra merah dekat 0.76-0.90 μm ; Sebastiá M.T. *et al.* (2012) melakukan pendekatan sama dengan model Luoheng Han. (2002) menggunakan kanal biru: 0.45-0.52 μm , kanal hijau : 0.52-0.60 μm kanal merah: 0.6-0.69 μm , infra merah dekat: 0.76-0.90 μm ; dan Jamadar.B.(2013) menggunakan ratio antara kanal hijau (0.50-0.60 μm) dan kanal merah (0.60- 0.70 μm) atau sebaliknya dan rasio antara kanal biru (0,40-0,50 μm) dan kanal merah atau sebaliknya.

Algoritma-algoritma yang digunakan untuk menentukan estimasi konsentrasi klorofil-a dengan kajian data Landsat-7 ETM adalah melakukan studi banding dari model algoritma: Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991), dan Mayo *et.al* (1995). Sedangkan untuk algoritma-algoritma yang lainnya akan dilakukan untuk tahun penelitian berikutnya. Untuk menentukan hubungan antara radianasi spektral dari tubuh air dengan kandungan klorofil-a yang diturunkan Wibowo *et.al* (1994) dalam Halida *et.al* (2010) menyatakan bahwa kanal infra merah (TM3), kanal infra merah dekat (TM4) dan kanal Infra-merah tengah I (TM5) dari citra satelit Landsat-7 ETM dapat digunakan untuk mendeteksi konsentrasi klorofil-a di perairan. Algoritma yang diturunkan adalah pada (persamaan 8).

$$C = 0.2812 \times \left(\frac{TM4+TM5}{TM3} \right)^{3.497} \quad (8)$$

Di mana :

C = konsentrasi klorofil-a (mg/l)
 TM3 : kanal 3
 TM4 : kanal 4
 TM5 : kanal 5

Sedangkan dari pemaparan peneliti lainnya seperti Wouthuyzen *et.al* (1991) dalam Pentury *et al* (2009) menyatakan bahwa kandungan konsentrasi klorofil-a dapat dideteksi melalui citra satelit Landsat-7 ETM dengan menggunakan kanal biru (TM1) dan kanal hijau (TM2). Algoritma yang diturunkan adalah pada (persamaan 9).

$$Chl = 10.359(TM2/TM1) - 2.355 \quad (9)$$

Di mana:

TM1 = kanal 1
 TM2 = kanal 2
 yang telah terkoreksi atmosfer (dijelaskan pada persamaan 7)

Kemudian pemaparan lainnya yang dikemukakan oleh Mayo *et.al* (1995) telah melakukan penelitian di Danau Kinneret Israel, menyatakan bahwa pendeteksian klorofil-a dapat menggunakan kanal biru, kanal hijau dan kanal infra merah. Hasil penurunan regresinya diperoleh bahwa hubungan antara reflektansi kanal-kanal ETM yang disimulasikan terhadap pengukuran klorofil yang sebenarnya (langsung dilangan/*ground truth*) dengan satuannya dalam miligram per meter kubik. Algoritma yang diturunkan adalah pada (persamaan 10).

$$Chl = 0.164 \{ [TM1 - (TM3)] / (TM2) \}^{-0.98} \quad (10)$$

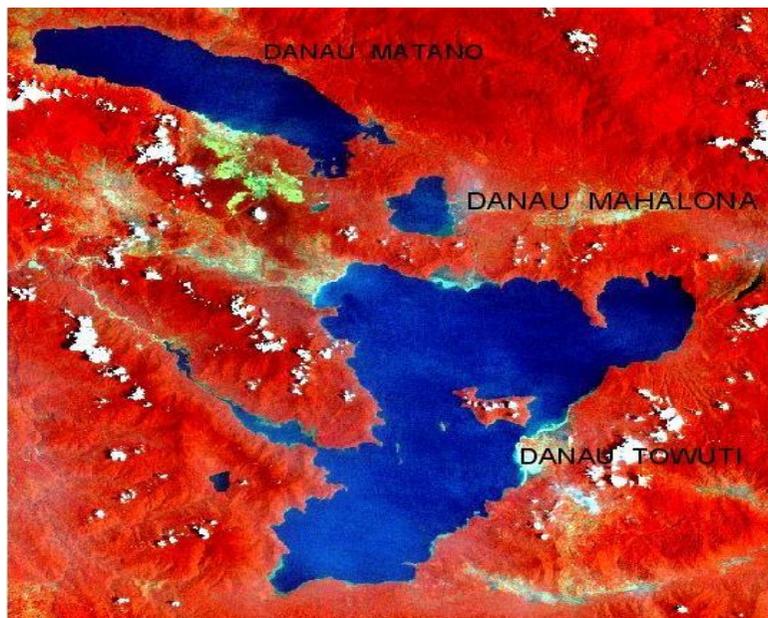
Di mana :

TM1 = kanal 1
 TM2 = kanal 2
 TM3 = kanal 3



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

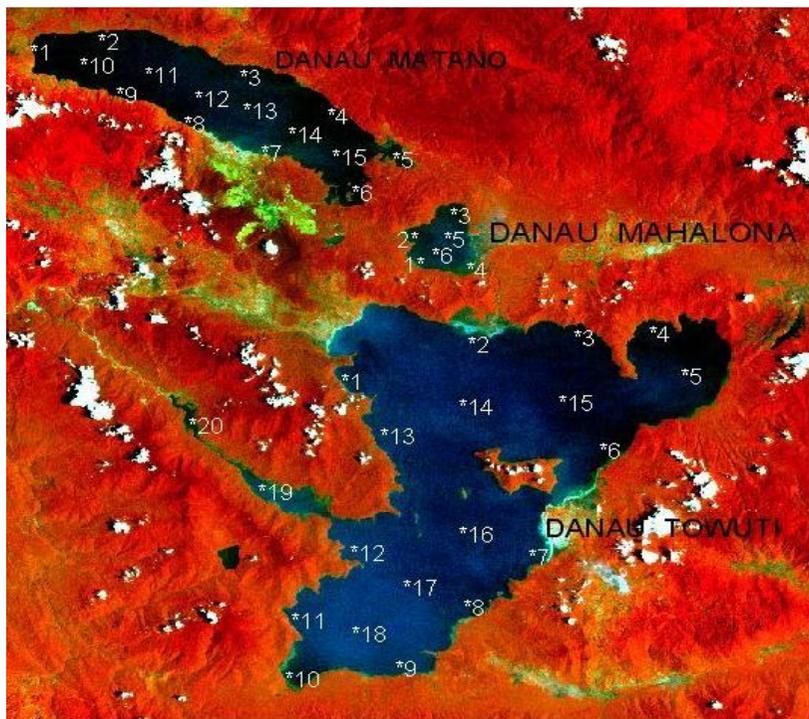
Karena pada penelitian ini tidak ada pengambilan data klorofil di lapangan (*ground truth*) yang sama dengan waktu akuisisi dari citra Landsat-7 ETM, maka peta sebaran konsentrasi klorofil-a langsung didapatkan dengan mengaplikasikan model-model dari pendekatan algoritma Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991) dan Mayo *et.al* (1995). Sebelum pembuatan peta sebaran klorofil terlebih dahulu dilakukan pembuatan citra warna gabungan RGB. Pada citra Landsat-7 ETM dibuat citra gabungan RGB 421 (Gambar 4) kemudian dipertajam (*enhancement*) sehingga dapat memperlihatkan ciri obyek yang lebih jelas dari kondisi air dan penutup lahan disekitarnya (Gambar 5) disertai dengan titik-titik lokasi pengamatan. Air Danau ditunjukkan dengan rona keruh (biru muda) hingga cerah (biru tua), sedangkan tutupan lahan disekitarnya didominasi tutupan bervegetasi (hutan dan tanaman campuran lain-lain yang ditunjukkan dengan rona warna merah), tutupan lahan lainnya adalah lahan terbuka, permukiman dan lain-lain. Berdasarkan data statistik citra Landsat-7 ETM yang setelah didelineasi batas-batas Dananya maka dapat diketahui luasan masing-masing Danau. Luas Danau Matano berkisar 16.188,48 Hektar, Danau Mahalano berkisar 2.276,20 Hektar dan Danau Towuti berkisar 55.087,34 Hektar.



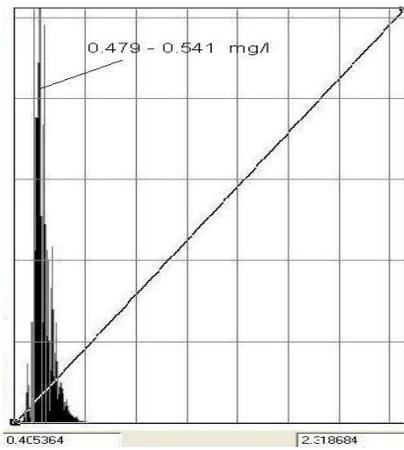
Gambar 4. Citra Landsat-7 ETM Gabungan RGB 421

Citra hasil olahan konsentrasi klorofil-a yang diturunkan dari model algoritma Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991), dan Mayo *et.al* (1995) yang diterapkan pada perairan Danau Matano, Mahalano, Towuti di Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan menampilkan citra dalam bentuk *Color*

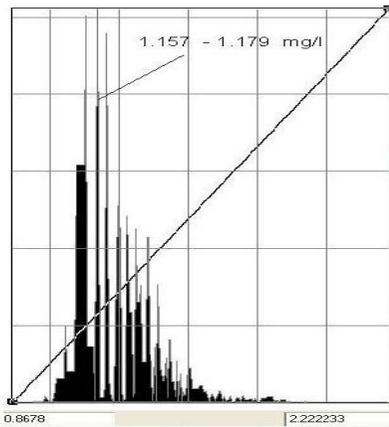
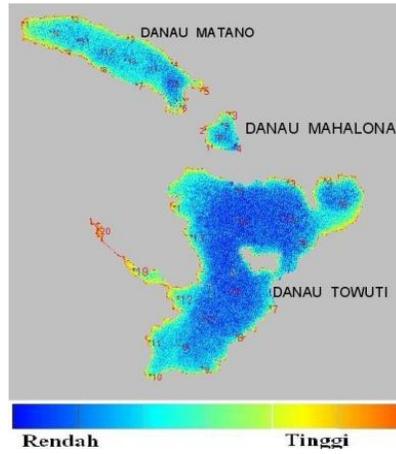
Mode Pseudocolor dan Color Table Pseudocolor. Citra hasil penerapan ketiga algorithm tersebut memperlihatkan penampakan obyek yang mirip sama antara model yang satu dengan lainnya. Penampakan konsentrasi klorofil-a ditampilkan dengan warna rona biru muda hingga biru tua, namun apabila dihitung berdasarkan algorithm dari ketiga model besaran nilai angka digital antara satu citra dengan citra yang lainnya tidak sama dan bervariasi. Perbedaan nilai angka digital dari ketiga algorithm tersebut dapat ditampilkan lebih jelas dalam kedalam bentuk histogram dan sebaran klorofil-a (Gambar 6-a,b,c) serta hasil klasifikasi kedalam bentuk peta sebaran klorofil-a yang ditampilkan pada (Gambar 6-d,e,f).



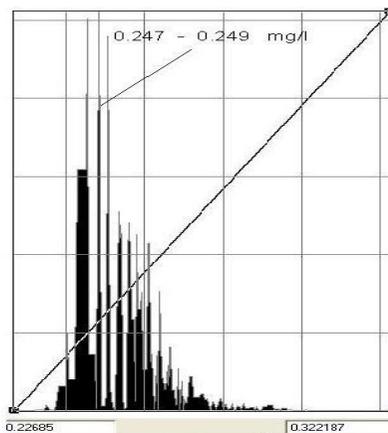
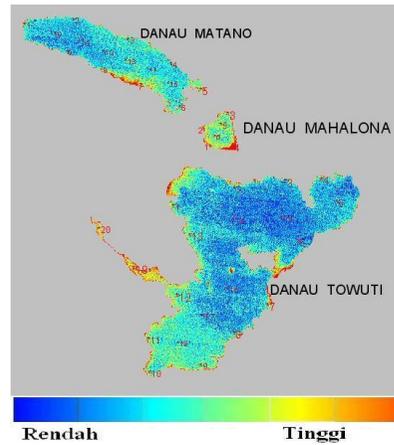
Gambar 5. Citra Satelit Landsat-TM RGB 421 Danau Matano, Danau Mahalano dan Danau Towuti, Aquisisi Tanggal 17 Oktober 1997 dan lokasi titik-titik pengamatan. Danau Matano 15 titik lokasi, Danau Mahalona 6 titik lokasi dan Danau Towuti 20 titik lokasi.



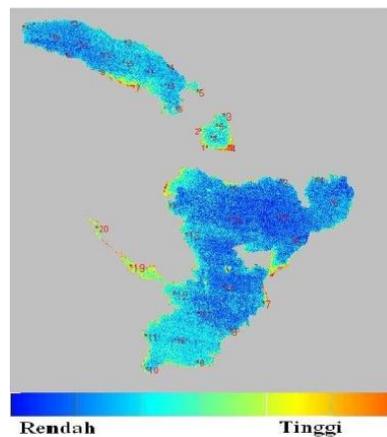
(a) Histogram dan Sebaran Klorofil-a Algorithma Wibowo et.al (1994).

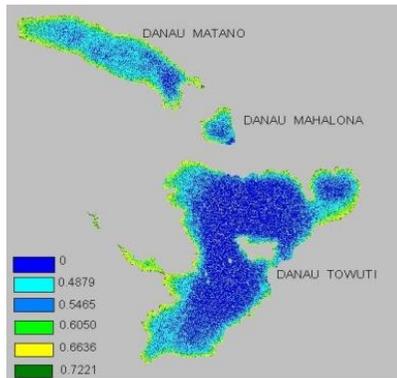


(b) Histogram dan Sebaran Klorofil-a Algorithma Wouthuyzen (1991)

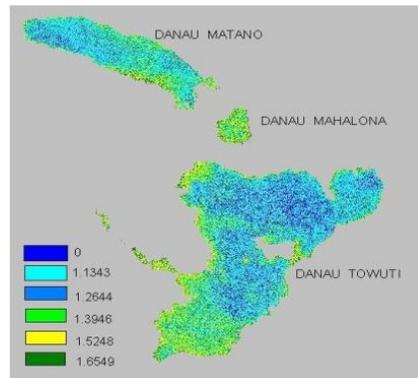


(c) Histogram dan Sebaran Klorofil-a Algorithma Mayo et.al(1995)

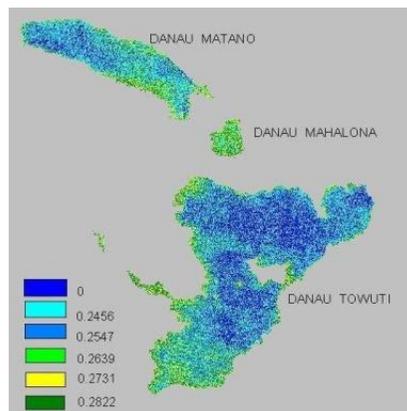




(d) Klasifikasi Peta Sebaran Klorofil-a *Algorithm Wibowo et.al (1994)*.



(e) Klasifikasi Peta Sebaran Klorofil-a *Algorithm Wouthuyzen (1991)*



(f) Klasifikasi Peta Sebaran Klorofil-a *Algorithm Mayo et.al(1995)*

Gambar 6. Model sebaran konsentrasi klorofil-a dari penurunan *algorithm Wibowo et.al (1994)*, *Wouthuyzen (1991)* dan *Mayo et.al (1995)*.

Untuk mengetahui apakah penurunan *algorithm* hasil olahan citra dari ketiga peneliti tersebut mempunyai nilai konsentrasi klorofil-a yang setara antara satu sama dengan yang lainnya, maka berdasarkan statistik dapat dihitung nilai konsentrasi klorofil-a yang diperoleh dari piksel-piksel angka digital citra Landsat-7 ETM tersebut. Pengambilan sampel dilakukan dengan mencatat nilai angka digital pada setiap titik-titik lokasi pengamatan terhadap kanal-kanal : TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM6 dan TM7. Pengambilan angka digital pada lokasi titik-titik sampel pengamatan ditampilkan pada Tabel 2. Pengambilan sampel nilai angka digital pada Danau Matano diambil 15 titik lokasi pengamatan, pada Danau Matano 6 titik lokasi pengamatan, dan pada Danau Towuti sebanyak 20 lokasi titik pengamatan, ditampilkan pada (Gambar 5).



Hasil penghitungan penurunan algoritma dari ketiga peneliti diperoleh nilai konsentrasi klorofil-a untuk setiap titik-titik lokasi pengamatan dengan satuannya dalam mg/l, lihat Tabel 3. Berikut ini contoh hasil olahan citra dari model algoritma Wibowo *et.al* (1994), Wouthuyzen (1991), dan Mayo *et.al* (1995) dijelaskan sebagai berikut:

- **Algoritma Wibowo *et.al* (1994):**

Estimasi kandungan klorofil-a dengan menggunakan algoritma Wibowo *et.al* (1994) menghasilkan kisaran nilai klorofil-a bervariasi antara 0.4879 – 0.7221 mg/l, dengan frekwensi tertinggi didominasi oleh nilai konsentrasi berkisar antara 0.479 – 0.541 mg/l, lihat (Gambar 6a) dan rata-rata = 0.5858 mg/l, StDev = 0.0585 lihat (Tabel 3). Dengan mengklasifikasikan (*unsupervised classification*) citra hasil dari penurunan algoritma Wibowo (1994) diperoleh peta sebaran klorofil-a yang ditunjukkan pada (Gambar 6d). Hasil klasifikasinya dibagi 6 kelas, yakni kelas 1(0 mg/l), kelas 2 (0.4879 mg/l), kelas 3 (0.5464 mg/l), kelas 4 (0.6050 mg/l), kelas 5 (0.6636 mg/l), kelas 6 (0.7221 mg/l).

- **Algoritma Wouthuyzen (1991):**

Estimasi kandungan klorofil-a dengan menggunakan algoritma Wouthuyzen (1991) di perairan Danau (Matano, Mahalona dan Towuti) menghasilkan kisaran nilai klorofil-a bervariasi antara 1.1343 – 1.1649 mg/l, dengan frekwensi tertinggi didominasi oleh nilai konsentrasi berkisar antara 1.157 – 1.179 mg/l, lihat (Gambar 6b) dan rata-rata = 1.2879 mg/l, StDev = 0.1092 lihat (Tabel 3). Hasil klasifikasi (*unsupervised classification*) citra hasil dari penurunan algoritma Wouthuyzen (1991) diperoleh peta sebaran klorofil-a yang ditunjukkan pada (Gambar 6e). Klasifikasi dibagi 6 kelas, yakni kelas 1(0 mg/l), kelas 2 (1.1343 mg/l), kelas 3 (1.2644 mg/l), kelas 4 (1.3946 mg/l), kelas 5 (1.5247 mg/l), kelas 6 (1.6549 mg/l).

- **Algoritma Mayo *et.al* (1995):**

Estimasi kandungan klorofil-a dengan menggunakan algoritma di perairan Danau (Matano, Mahalona dan Towuti) menghasilkan kisaran nilai klorofil-a bervariasi antara 0.2456 – 0.2823 mg/l, dengan frekwensi tertinggi didominasi oleh nilai konsentrasi berkisar antara 0.247 – 0.249 mg/l, lihat (Gambar 6c) dan rata-rata = 0.2564 mg/l, StDev = 0.0076, lihat (Tabel 3). Hasil klasifikasi (*unsupervised classification*) citra hasil dari penurunan algoritma Mayo *et.al* (1995) diperoleh peta sebaran klorofil-a yang ditunjukkan pada (Gambar 6f). Klasifikasi dibagi 6 kelas, yakni kelas 1(0 mg/l), kelas 2 (0.2456 mg/l), kelas 3 (0.2547 mg/l), kelas 4 (0.2639 mg/l), kelas 5 (0.2731 mg/l), kelas 6 (0.2822 mg/l).

Tabel 2. Nilai angka digital dilokasi titik-titik pengamatan pada citra Landsat-TM setiap kanal: TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM6, dan TM7 di Lokasi Danau Matano(Mt), Danau Mahalano(Mh) dan Danau Towuti(Tw)

Pengamatan	Koordinat		Nilai Angka Digital						
	Latitude	Longitude	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7	
Mt1	2:26:16.33S	121:13:0.31E	89	31	26	21	12	6	
Mt2	2:25:47.22S	121:17:10.1E	89	31	25	21	10	5	
Mt3	2:27:30.81S	121:21:47.5E	90	32	26	19	10	5	
Mt4	2:29:35.92S	121:25:29.83E	86	29	24	19	10	6	
Mt5	2:31:49.19S	121:31:49.19E	88	31	26	21	10	4	
Mt6	2:33:17.78S	121:26:14.06E	86	30	23	19	8	5	
Mt7	2:31:17.37S	121:22:27.42E	93	35	28	20	11	6	
Mt8	2:30:2.96S	121:19:31.87E	90	31	26	21	11	6	
Mt9	2:28:33.23S	121:16:36.74E	87	31	24	19	9	6	
Mt10	2:26:56.94S	121:15:11.78E	89	31	25	16	10	5	
Mt11	2:27:39.53S	121:17:39.65E	90	32	25	16	11	6	
Mt12	2:28:33.83S	121:19:23.4E	90	31	26	16	11	7	
Mt13	2:29:4.63S	121:21:44.26E	92	32	27	17	11	6	
Mt14	2:29:47.55S	121:23:31.16E	91	31	26	16	10	6	
Mt15	2:31:2.26S	121:25:3.96E	88	31	25	16	8	7	
Mh1	2:36:37.35S	121:28:52.51E	94	34	27	21	11	5	
Mh2	2:55:4.85S	121:28:13.02E	92	33	27	23	11	6	
Mh3	2:33:52.46S	121:30:18.28E	90	32	24	22	10	5	
Mh4	2:36:41.76S	121:30:47.07E	93	36	31	20	10	3	
Mh5	2:34:42.91S	121:29:44.27E	95	34	26	20	11	4	
Mh6	2:35:48.31S	121:29:19.45E	93	32	26	18	9	5	
Tw1	2:41:41.5S	121:25:37.25E	94	33	27	20	11	7	
Tw2	2:40:6.31S	121:30:57.71E	94	33	26	17	11	6	
Tw3	2:39:35.18S	121:35:7.78E	91	31	25	20	10	6	
Tw4	2:39:28.84S	121:38:15.32E	92	31	26	21	10	4	
Tw5	2:41:29.41S	121:39:33.33E	92	31	25	16	8	5	
Tw6	2:44:54.8S	121:36:15.14E	89	31	25	15	9	6	
Tw7	2:50:16.77S	121:33:35.86E	92	32	27	20	10	5	
Tw8	2:52:31.46S	121:31:2.0E	95	32	26	19	10	5	
Tw9	2:55:14.92S	121:28:3.34E	96	34	27	20	9	6	
Tw10	2:55:59.06S	121:23:32.78E	95	34	28	21	9	6	
Tw11	2:53:11.44S	121:23:31.3E	94	34	27	23	11	6	
Tw12	2:49:13.3S	121:25:45.77E	96	35	28	20	10	6	
Tw13	2:44:1.73S	121:26:57.81E	94	34	27	20	8	5	
Tw14	2:42:46.04S	121:30:27.57E	94	32	26	16	10	6	
Tw15	2:42:42.4S	121:34:25.89E	91	31	25	15	9	6	
Tw16	2:48:55.32S	121:30:14.08E	94	32	27	16	9	6	
Tw17	2:51:11.35S	121:28:11.48E	94	33	27	17	10	6	
Tw18	2:53:11.66S	121:26:4.98E	96	34	28	18	11	5	
Tw19	2:46:56.82S	121:22:11.08E	96	35	28	22	11	7	
Tw20	2:43:36.22S	121:19:12.95E	90	32	27	24	13	5	

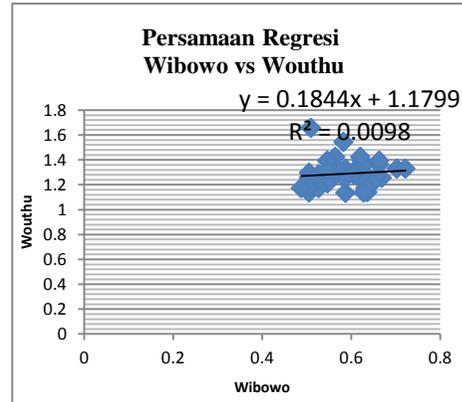
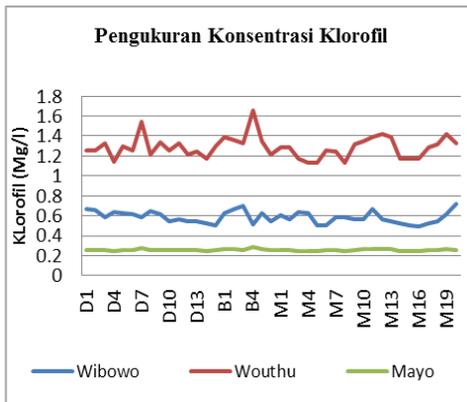
**Tabel 3. Konsentrasi klorofil-a di setiap titik-titik lokasi pengamatan diperairan Danau Matano (Mt), Mahalona (MH), dan Towuti (Tw)**

Pengamatan	Konsentrasi Klorofil mg/l			
	Wibowo	Wouthuyzen	Mayo	WoutMayo
Mt1	0.668851	1.253191	0.253977	0.19032135
Mt2	0.653447	1.253191	0.253977	0.19032135
Mt3	0.587778	1.3282	0.2592568	0.19083111
Mt4	0.63676	1.138151	0.2458795	0.18953953
Mt5	0.628315	1.294193	0.2568631	0.1906
Mt6	0.618621	1.258605	0.2543581	0.19035814
Mt7	0.583435	1.543548	0.274415	0.19229462
Mt8	0.648583	1.2131	0.251155	0.19004889
Mt9	0.614802	1.336138	0.2598156	0.19088506
Mt10	0.548052	1.253191	0.253977	0.19032135
Mt11	0.569131	1.3282	0.2592568	0.19083111
Mt12	0.547242	1.2131	0.251155	0.19004889
Mt13	0.546491	1.24813	0.2536208	0.19028696
Mt14	0.526974	1.17389	0.2483951	0.18978242
Mt15	0.505895	1.294193	0.2568631	0.1906
Mh1	0.624561	1.391872	0.2637386	0.19126383
Mh2	0.663596	1.360728	0.2615464	0.19105217
Mh3	0.702631	1.3282	0.2592568	0.19083111
Mh4	0.509974	1.654935	0.2822554	0.19305161
Mh5	0.628315	1.352432	0.2609625	0.19099579
Mh6	0.547242	1.209387	0.2508937	0.19002366
Tw1	0.605044	1.28167	0.2559816	0.19051489
Tw2	0.56751	1.28167	0.2559816	0.19051489
Tw3	0.632368	1.17389	0.2483951	0.18978242
Tw4	0.628315	1.135533	0.2456951	0.18952174
Tw5	0.505895	1.135533	0.2456951	0.18952174
Tw6	0.505895	1.253191	0.253977	0.19032135
Tw7	0.585526	1.24813	0.2536208	0.19028696
Tw8	0.587778	1.134347	0.2456117	0.18951368
Tw9	0.566009	1.313813	0.2582441	0.19073333
Tw10	0.564615	1.352432	0.2609625	0.19099579
Tw11	0.663596	1.391872	0.2637386	0.19126383
Tw12	0.564615	1.421719	0.2658395	0.19146667
Tw13	0.546491	1.391872	0.2637386	0.19126383
Tw14	0.526974	1.171468	0.2482246	0.18976596
Tw15	0.505895	1.17389	0.2483951	0.18978242
Tw16	0.487938	1.171468	0.2482246	0.18976596
Tw17	0.526974	1.28167	0.2559816	0.19051489

Pengamatan	Konsentrasi Klorofil mg/l			
	Wibowo	Wouthuyzen	Mayo	WoutMayo
Tw18	0.545794	1.313813	0.2582441	0.19073333
Tw19	0.621076	1.421719	0.2658395	0.19146667
Tw20	0.722149	1.3282	0.2592568	0.19083111
Minimum	0.487938	1.134347	0.2456117	0.18951368
Maksimum	0.722149	1.654935	0.2822554	0.19305161
Rata-rata	0.585882	1.287914	0.2564211	0.19055733
Stdev	0.058574	0.109207	0.007687	0.00074217

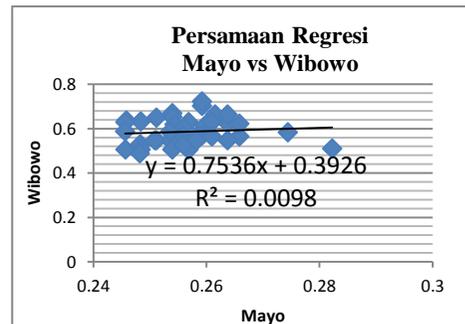
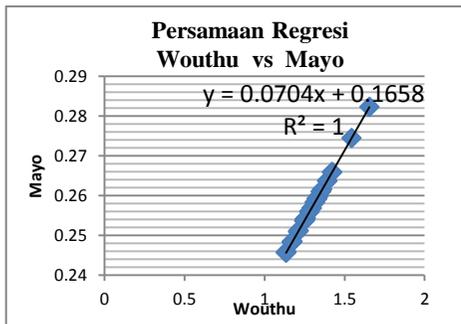
Bila dilihat pada Tabel 3 ternyata nilai konsentrasi klorofil-a di ketiga Danau nampak bervariasi. Nilai konsentrasi klorofil-a dengan menggunakan algoritma Wouthuyzen (1991) relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan algoritma Wibowo *et.al* (1994) dan algoritma Mayo *et.al* (1995), namun apabila dilihat dari kenampakan spektral dari ketiga citra hasil olahan memiliki kemiripan pola. Pola penampakan spektral yang setelah diklasifikasikan kedalam bentuk peta sebaran klorofil-a ditampilkan pada Gambar 6 d, e, f. Konsentrasi tinggi dominan diperlihatkan pada perairan Danau Matano tersebar di pinggiran Danau dengan ditunjukkan warna hijau muda dan agak kekuning-kuningan menurun berangsur-angsur hingga biru muda ke arah tengah Danau. Di perairan Danau Mahalona dominan rata-rata tinggi ditunjukkan dengan warna hijau muda dan di perairan Danau Towuti dominan konsentrasinya rendah ditunjukkan dengan warna biru muda, namun dipinggiran Danau dan ke arah outlet dominan tinggi ditunjukkan dengan warna hijau muda dan kuning.

Ketidaksamaan nilai angka digital dari pola sebaran klorofil-a yang diperoleh melalui hasil perhitungan ketiga metode ini disebabkan karena tiap metode menggunakan kanal yang berbeda-beda, sehingga menghasilkan nilai konsentrasi klorofil-a yang berbeda pula (Gambar 7a). Dalam perbedaan nilai ini, kemudian dibuat simulasi reflektansi kanal-kanal ETM dari ketiga model algoritma tersebut. Simulasi reflektansi kanal-kanal ETM dilakukan dengan pengambilan sampel (angka digital) pada objek titik-titik pengamatan dan diantara ketiga algoritma tersebut kemudian dibuat persamaan regresinya. (Gambar 7b) memperlihatkan regresi antara perhitungan reflektansi ke simulasi kanal-kanal ETM dari model Wibowo *et.al* dan Wouthuyzen yang menghasilkan fungsi $y = 0,1844 x + 1,1799$ dan koefisien determinasi (R^2) = 0,0098. Selanjutnya (Gambar 7c) memperlihatkan regresi antara perhitungan reflektansi ke simulasi kanal-kanal ETM model Wouthuyzen (1991) dan Mayo *et.al* (1995) yang menghasilkan fungsi $y = 0,0704 x + 0,1658$ dan koefisien determinasi (R^2) = 1. Kemudian (Gambar 7d) memperlihatkan regresi antara perhitungan reflektansi ke simulasi kanal-kanal ETM dari model Mayo *et.al* (1995) dan Wibowo *et.al* (1994) yang menghasilkan fungsi $y = 0,7536 x + 0,3926$ dan koefisien determinasi (R^2) = 0,0098.



(a) Nilai Klorofil-a: Wibowo et.al, Wouthuyzen dan Mayo et.al

(b) Regresi antara Wibowo et.al dan Wouthuyzen



(c) Regresi antara Wouthuyzen dan Mayo et.al

(d) Regresi antara Mayo et.al dan Wibowo et.al

Gambar 7. Hasil pengukuran konsentrasi klorofil-a dan bentuk regresi antara perhitungan reflektansi ke simulasi kanal-kanal Landsat-7 ETM dari model algoritma Wibowo et.al, Wouthuyzen, dan Mayo et.al.

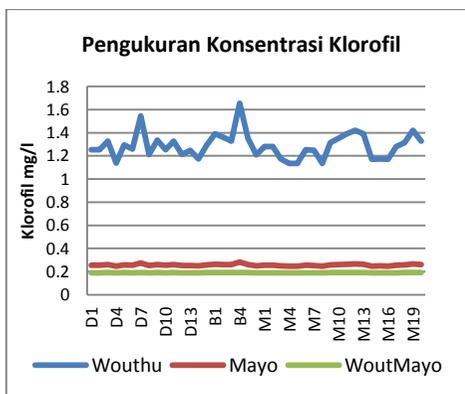
Dari ketiga persamaan regresi yang ditampilkan kita dapat memilih persamaan-persamaan yang relatif setara dengan ketiga model yang dihasilkan, sehingga persamaan tersebut mempunyai nilai yang mungkin dapat dimanfaatkan untuk penelitian yang berkelanjutan. Apabila dicermati ternyata hasil penurunan algoritma dengan cara menurunkan persamaan regresi antara perhitungan reflektansi ke simulasi kanal-kanal Landsat-7 ETM yang paling baik adalah regresi antara perhitungan model Wouthuyzen dan Mayo *et.al* dengan perolehan fungsinya, yaitu: $y = 0,0704 x + 0,1658$ dengan koefisien determinasinya (R^2) = 1. Kedua persamaan algoritma dari Wouthuyzen dan Mayo *et.al* menunjukkan hasil yang cukup signifikan karena mempunyai koefesiansnya $R^2=1$ sehingga keduanya setara dan dapat dipakai untuk ekstraksi informasi konsentrasi klorofil-a yang berkelanjutan. Oleh karena itu, persamaan regresi tersebut bisa kita pakai untuk ekstraksi informasi klorofil-a berkelanjutan yang mana kita sebut persamaan baru tersebut adalah "WoutMayo" (Wouthuyzen dan Mayo *et.al*) :

$$Y = 0,0704 (TM2/TM1) + 0,1658 \quad (11)$$

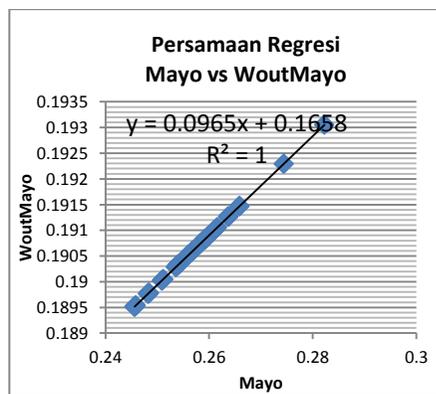
Di mana: TM1 = kanal biru,

TM2 = kanal hijau yang telah terkoreksi atmosfer (telah dijelaskan pada pengolahan awal).

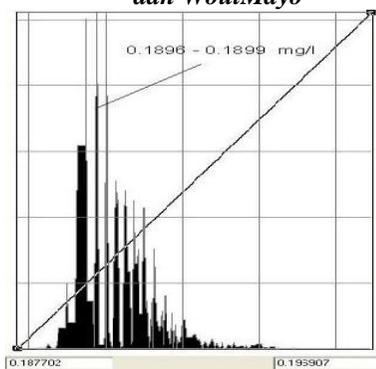
Hasil perhitungan nilai onsentrasi klorofil-a untuk ketiga model Wouthuyzen, Mayo dan WoutMayo mengalami perbedaan. Konsentrasi Wouthuyzen nampak lebih tinggi dari pada Mayo dan WoutMayo (Gambar 8a). Ini disebabkan karena komposisi kanal untuk algoritma Wouthuyzen menggunakan dua kanal biru dan hijau yaitu ratio kanal TM1 dan TM2, sedangkan Mayo dan WoutMayo menggunakan input tiga kanal biru, hijau dan merah yaitu ratio kanal TM1, TM2 dan TM3.



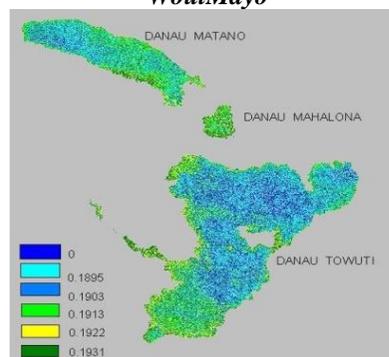
(a) Nilai Klorofil-a Wouthuyzen, Mayo dan WoutMayo



(b) Regresi antara Mayo dan WoutMayo



(c) Histogram Konsentrasi Klorofil-a Perhitungan WoutMayo



(d) Peta Sebaran Klorofil-a Hasil Klasifikasi Metode WoutMayo

Gambar 8. Hasil pengukuran konsentrasi klorofil-a dari WoutMayo, (b). bentuk regresi antara perhitungan reflektansi ke simulasi kanal-kanal ETM dari model algoritma Mayo dan WoutMayo, (c). Histogram konsentrasi klorofil-a WoutMayo, dan (d). Peta sebaran klorofil-a hasil klasifikasi WoutMayo



Kemudian pola sebaran klorofil-a yang diperoleh dari algoritma WoutMayo dan Mayo *et.al* (1995) nampak setara, artinya kedua model algoritma dari hasil penurunannya membentuk suatu garis yang parallel (Gambar 8a) dan kalau dilihat dari titik-titik lokasi pengamatan dari kedua model algoritma tersebut diperoleh suatu persamaan regresi yang membentuk suatu persamaan garis lurus dengan nilai persamaan $y=0,0965x + 0,1658$ dan nilai koefesien determinasinya $R^2=1$ diperlihatkan pada (Gambar 8.b).

Estimasi kandungan klorofil-a dengan menggunakan algoritma WoutMayo menghasilkan kisaran nilai klorofil-a yang bervariasi antara 0.1895 – 0.1930 mg/l, dengan frekwensi tertinggi didominasi oleh nilai konsentrasi berkisar antara 0.1896 – 0.1899 mg/l dan rata-rata 0.1905 mg/l, StDev = 0.0007. Seluruh frekwensi konsentrasi klorofil-a ditampilkan dalam bentuk histogram (Gambar 8c). Hasil klasifikasi dibuat menjadi 6 kelas, yakni kelas 1 (nilai nol), kelas 2 (0.1895 mg/l), kelas 3 (0.1903 mg/l), kelas 4 (0.1913 mg/l), kelas 5 (0.1922 mg/l), kelas 6 (0.1931 mg/l) ditunjukkan pada (Gambar 8d).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Konsentrasi klorofil-a di perairan Danau (Matano, Mahalona dan Towuti) dengan menggunakan tiga model algoritma nilainya bervariasi. Konsentrasi klorofil-a yang relatif tinggi diperoleh dengan menggunakan algoritma Wouthuyzen (1991) jika dibandingkan dengan algoritma Wibowo *et.al* (1994) dan algoritma Mayo *et.al* (1995). Ini disebabkan karena komposisi band untuk algoritma Wouthuyzen menggunakan dua kanal yaitu ratio kanal TM1 dan TM2, sedangkan Mayo dan WoutMayo menggunakan input ratio kanal TM1, TM2 dan TM3. Namun ketiganya memiliki kemiripan pola dimana konsentrasi klorofil-a yang tinggi dihasilkan pada perairan sekitar pinggiran danau dan disekitar outlet. Konsentrasi akan menurun berangsur-angsur dari inlet ke tengah danau.
2. Hasil menurunkan persamaan regresi dari model Wouthuyzen (1991) dan Mayo *et.al* (1995) diperoleh bentuk persamaan regresi baru WoutMayo $Y = 0,0704 X + 0,1658$ dengan koefesien determinasi (R^2) = 1. Dari persamaan algoritma ini menunjukkan hasil yang cukup signifikan dan setara untuk dipakai mengekstraksi informasi konsentrasi klorofil-a berkelanjutan. Oleh karena itu, dengan referensi dari model Wibowo, Wouthuyzen dan Mayo, dapat dibuat model WoutMayo dengan tujuan utama adalah untuk mengembangkan model lain dari deteksi dan ekstraksi informasi konsentrasi klorofil-a di perairan danau menggunakan data satelit penginderaan jauh.

3. Sebaran klorofil-a yang diperoleh melalui hasil perhitungan metode WoutMayo dan metode Mayo *et.al* (1995) nampak menunjukkan pola kesetaraan yang sama dengan nilai keduanya paralel. Estimasi kandungan klorofil-a menggunakan algoritma WoutMayo diperoleh kisaran nilai klorofil-a antara 0.1895 – 0.1930 mg/l, dengan frekwensi tertinggi didominasi oleh nilai konsentrasi berkisar antara 0.1896 – 0.1899 mg/l dan rata-rata 0.1905 mg/l. Hasil pengkelasan algoritma WouthMayo dikelaskan menjadi: kelas 1(0 mg/l), kelas 2 (0.1895 mg/l), kelas 3 (0.1903 mg/l), kelas 4 (0.1913 mg/l), kelas 5 (0.1922 mg/l), kelas 6 (0.1931 mg/l).

Disarankan agar penelitian lanjutan dengan melakukan uji lapangan untuk menghasilkan algoritma klorofil-a yang valid khusus untuk perairan Danau (Matano, Mahalona dan Towuti), mengingat belum adanya algoritmma yang dikembangkan untuk perairan tersebut dengan menggunakan data penginderaan jauh. Kemudian diharapkan dapat dijadikan masukan untuk membuat kebijakan pengelolaan danau berkelanjutan (Memanfaatkan Danau dengan memperhatikan kelestariannya).

DAFTAR REFERENSI

- Balasaheb Jamadar., Purandara, B.K. “*Review on Study of Lake Water Using Multi Sensor Remote Sensing Data*”. Department of PG Studies-Visveswaraiah Technological University Belgaum, Karnataka India 2 Scientists, Regional Centre, National Institute of Hydrology, Hanuman Nagar, Belgaum, Karnataka, India-590 00. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 6, Issue 5 (May. - Jun. 2013), PP 50-52 www.iosrjournals.org
- Brezonik *et al.* (2002), *Satellite and GIS Tools to Assess Lake Quality*”, Water Resources Center, University of Minnesota.
- Butler, MJA, M.C Moucot, V Barale and Le Blanc 1988. *The Application of Remote Sensing Technology to Marine Fisheries An Introductory manual* FAO. New York. 165p.
- Claire G. Griffin. ”*Remote sensing of chlorophyll-a in texas estuary*” CE 394K.3. GIS in Water Resources. Fall 2010.
- Halida *et.al* (2010). *Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a dengan Pengolahan Citra Landsatm ETM-7 dan Uji Laboratorium di Perairan Selat Madeura Bagian Barat*. Jurnal Kelautan, Volume 3, No.1 April 2010 ISSN : 1907-9931
- Mayo, M., Gitelson, A., Yacobi, Y.Z and Ben-Avraham, Z (1995). *Chlorophyll Distribution in Lake Kinneret Determined from Landsat Thematic Mapper Data*. Departemen of Geophysics and Planetary Sciences. Tel-Aviv University. Israel. INT.J.REMOTE SENSING, 1995, VOL. 16.No1 I.175-182. Internotionoi Journal of Remote Sensing 12,2045-2063.
- Kneubuhler, M. *et.al* (2007). *Mapping Chlorophyll-a in Lake Kivu with Remote Sensing Methods*. Remote Sensing Laboratories (RSL), University of Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich, Switzerland. Proc. ‘Envisat Symposium 2007’, Montreux, Switzerland 23–27 April 2007 (ESA SP-636, July 2007)



- Luoheng Han.. “*Mapping Chlorophyll Using Landsat ETM+ Data*”. Department of Geography University of Alabama. (2002).
- O’ Relly, J. E., S. Maritorena, B.G. Mitchell, D.A. Siegel, K.L. Carder. S.A. Garver, M Kahru, and C. Mc Clain , 1998, “ *Ocean Color Algorithm for Sea Wifs*” J. Ceophysical Res. 103. 24, 937 – 24, 953.
- Pentury.R dan Waas.H.J.D. *Penentuan Konsentrasi Klorofil-a Perairan Teluk Kayeli Pulau Buru Menggunakan Metode Inderaja*. Jurusan Manajemen Sumberdaya Perikanan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Pattimura . Jurnal TRITON Volume 5, Nomor 2, Oktober 2009.hal 60-66.
- Risdianto R .K. 1995. *Algorithm Pendugaan Konsentrasi Klorofil-a Berdasarkan Data Landsat-TM Untuk Barat*. Skripsi Fakultas Perikanan IPB 106 hal.Pemetaan Horizontal Produktivitas Primer di Perairan Selatan Jawa
- Sebastiá1, M.T, J. Estornell2, M. Rodilla1, J. Martí1 and S. Falco1. “*Estimation of Chlorophyll-a A Quickbird* “.Revista de Teledetección (2012) 37, 23-33. The Valencian Gulf (Mediterranean Sea) Spain (2012).
- Yuanzhi Zhang1, Hui Lin, Chuqun Chen, Liding Chen, Bing Zhang and Anatoly A Gitelson. ”*Estimation of Chlorophyll-a Concentration in Estuarine Waters: Case Study of The Pearl River Estuary, South China Sea*“. Enviromental Research Letters . Environ. Res. Lett. **6** (2011) 024016.(9pp). Published 1 June 2011.

BIOGRAFI PENULIS

Drs. Nana Suwargana, M.Si.



Drs. Nana Suwargana, M.Si. dilahirkan di Banjar pada tanggal 09 Maret 1955. Peneliti Madya bidang Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh LAPAN. Gelar Magister penulis diperoleh dari pendidikan Ilmu Tanah, Pascasarjana, IPB (2002). Gelar sarjana diraih tahun 1982 di bidang Fisika, Unpad. Gelar spesialis dari Post Graduate Course: Training “Digitale Verabetung von Satellitendaten” im Rahmen des Overseases Fellowship Programe, DLR Jerman (1988).

Penelitian yang dilakukan banyak berkaitan dengan penginderaan jauh, pemantauan dan inventarisasi Sumber Daya Wilayah Pesisir Laut dan Sumber Wilayah Perairan Darat. Organisasi profesi yang menaungi aktivitasnya adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN). Tulisan ilmiahnya antara lain: Pemantauan Perubahan Tutupan Lahan Pulau Rambut dan Pulau Untung Jawa di Kepulauan Seribu, Analisis Perubahan Penutup Lahan di Pulau Karimun Propinsi Kepulauan Riau, Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Pesisir Pantai Indah Kapuk Menggunakan Data Satelit Landsat dan Ikonos, Dampak Musim Hujan Terhadap Pola Sebaran TSM di Danau Limboto Gorontalo Menggunakan Data Landsat-TM, dan Pemantauan Luas Rawa Pening Periode 1992, 2001, dan 2006 Berbasis Data Landsat-TM dan Ikonos.