

**PENYUSUNAN ALGORITMA PENDUGA KONSENTRASI KLOORIFIL-A
BERDASARKAN DATA SPEKTORADIOMETER
DI PERAIRAN TELUK JAKARTA DAN KEPULAUAN SERIBU**

Achmad Fachruddin Syah

*Dosen Jurusan Ilmu Kelautan Universitas Trunojoyo Madura
E-mail : fachruddin@trunojoyo.ac.id*

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk membuat model algoritma yang tepat antara data konsentrasi klorofil-a in situ dengan nilai spektral spektoradiometer melalui analisis regresi – korelasi di Teluk Jakarta dan Kepulauan Seribu. Proses penyusunan algoritma dilakukan dengan menggunakan analisis regresi linear antara nilai konsentrasi klorofil-a sebagai variabel tak bebas dengan kombinasi kanal dari spektoradiometer sebagai variabel bebas. Selanjutnya dilakukan uji-F dan uji-t terhadap algoritma yang dihasilkan. Pengolahan data secara statistik menghasilkan kombinasi kanal terbaik untuk menduga sebaran konsentrasi klorofil-a di Teluk Jakarta dan Kepulauan Seribu adalah $K1+LnK5+K9$. Model persamaan penduga konsentrasi klorofil-a yang diperoleh secara statistik dinilai sangat baik karena memiliki nilai koefisien korelasi $r = 0.999$ dan nilai keefisien determinasi $R^2 = 99.8\%$. Uji kehandalan model yang dilakukan membuktikan bahwa algoritma yang dihasilkan dapat diterima, dan konsentrasi klorofil-a teoritis yang dihasilkan tidak berbeda nyata dengan konsentrasi klorofil-a pengamatan. Dalam penelitian ini penyusunan algoritma dilakukan untuk menduga sebaran horisontal dari nilai rata-rata konsentrasi klorofil-a yang ada pada kedalaman 1–3 meter.

Kata kunci : *Algoritma, klorofil-a, spektoradiometer*

PENDAHULUAN

Salah satu potensi sumber daya perikanan alam di lautan yang memiliki nilai ekonomis tinggi atau penting yaitu sumber daya perikanan. Potensi sumber daya perikanan dapat diduga berdasarkan produktivitas primer suatu perairan. Hal ini dilakukan dengan memperhatikan faktor efisiensi ekologis dalam jaring-jaring makanan. Faktor efisiensi ekologis adalah faktor konversi untuk menduga produktivitas bahan organik dari organisme tingkat atas (konsumen) berdasarkan produksi bahan organik organisme tingkat rendah (produsen), dalam jenjang aliran energi (trophic level).

Menurut Raymond (1963), terdapat hubungan yang linier antara produktivitas primer dengan kelimpahan plankton. Dikatakannya bahwa semakin tinggi kelimpahan plankton di suatu perairan, maka perairan tersebut cenderung memiliki produktivitas primer yang tinggi. Ryther dan Yentsch (1957), mengungkapkan bahwa konsentrasi pigmen aktif dalam fotosintesis (klorofil-a) dapat digunakan sebagai standing stock dari fitoplankton untuk memperkirakan laju produktivitas primer di perairan. Oleh karena itu dalam beberapa penelitian digunakan metode klorofil-a untuk menduga produktivitas primer suatu perairan.

Pengukuran produktivitas primer selama ini hanya dilakukan dengan metode konvensional. Kondisi wilayah laut Indonesia yang luas menjadi salah satu kendala untuk menginventarisasi sumber daya alam, khususnya untuk mengetahui sebaran produktivitas primer di suatu perairan. Kondisi tersebut tidak jarang mengakibatkan kegiatan penelitian menjadi sangat mahal, dan memakan waktu yang lama. Oleh karena itu diperlukan suatu teknologi yang dapat memberikan informasi tentang kondisi laut dan daratan di Indonesia secara cepat, murah dan memiliki akurasi tinggi dalam memberikan informasi global. Melalui teknologi tersebut diharapkan kendala yang biasa ditemui oleh teknologi konvensional dalam menginventarisasi sumber daya hayati laut dapat diatasi.

Teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu metode alternatif yang sangat menguntungkan jika dimanfaatkan pada suatu negara dengan wilayah yang sangat luas seperti Indonesia. Menurut Sutanto (1992), ada beberapa keuntungan penggunaan teknologi penginderaan jauh, antara lain yaitu:

1. Citra menggambarkan obyek, daerah dan gejala di permukaan bumi dengan wujud dan letak obyek yang mirip dengan wujud dan letaknya di permukaan bumi, relatif lengkap, permanen dan meliputi daerah yang sangat luas.
2. Karakteristik obyek yang tidak tampak dapat diwujudkan dalam bentuk citra, sehingga dimungkinkan pengenalan obyeknya
3. Citra dapat dibuat secara tepat, meskipun untuk daerah yang sulit dijelajahi secara teresterial.

4. Merupakan satu-satunya cara untuk memetakan daerah bencana.
5. Periode pembuatan citra relatif pendek

Melalui penggunaan metode tersebut pendugaan produktivitas primer dapat dilakukan secara sinoptik berdasarkan konsentrasi klorofil. Keberhasilan pendugaan produktivitas primer sangat tergantung kepada penentuan model algoritma konsentrasi klorofil yang cocok untuk wilayah perairan yang diamati pada penelitian ini.

METODOLOGI

Penelitian ini berlokasi di Teluk Jakarta dan Kepulauan Seribu. Lokasi pengambilan data in situ ditentukan berdasarkan perbedaan kualitas air yang diamati secara visual. Perairan Teluk Jakarta secara visual terlihat bahwa pada daerah teluk warna perairan keruh dan gelap dan semakin ke utara, perairan semakin jernih. Dalam penelitian ini terdapat 2 pendekatan pengukuran kualitas air yaitu:

1. Pengambilan sampel arah tegak lurus garis pantai: dekat teluk diwakili oleh titik sampel di perairan Muara Angke, di tengah diwakili oleh titik sampel di perairan Pulau Pari dan jauh dari teluk diwakili oleh titik sampel di perairan Pulau Pramuka.
2. Pengambilan sejajar dengan pantai Teluk Jakarta: dekat dan jauh dari daerah estuary

Pada saat pengambilan sampel air laut, disaat yang bersamaan dilakukan juga perekaman nilai reflektansi dari perairan tersebut dengan menggunakan spektrometri

Alat dan Bahan

Data klorofil-a in situ merupakan bahan utama yang digunakan untuk menyusun algoritma dalam penelitian ini. Konsentrasi klorofil-a in situ diperoleh dari sampel yang diambil di lapisan permukaan dan diolah lebih lanjut di laboratorium. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol sampel, kertas miliphore berpori 0,45 mm dan diameter 47 mm, pompa tekan hisap, plastik hitam, aluminium foil, tabung niskin, *septrifuse*, tissue grinder, *freezer* (pendingin), spektrometri, GPS, pensil, buku tulis, perahu motor, *cool box*, aseton 90% dan $MgCO_3$.

Berikutnya yang diperlukan adalah data spektral dari spektrometri. Data yang diperoleh sudah dalam bentuk nilai digital (nilai negatif). Namun untuk kepentingan konversi data, maka nilai negatif tersebut kemudian dibuatkan nilai absolutnya.

Pengambilan Sampel Klorofil-a in situ dan Pengambilan Nilai Reflektansi Klorofil-a dengan Spektrometri

Lokasi pengambilan data in situ dibagi menjadi 5 stasiun dari perairan di sekitar Muara Angke, Pulau Pramuka dan Pulau Pari dengan perincian yaitu stasiun 1 berada di sekitar pulau Pramuka, stasiun 2 di sekitar pulau Pari dan stasiun 3, 4, dan 5 di Muara Angke. Di setiap stasiun terdapat 3 titik pengambilan sampel air. Pada stasiun 1 dan stasiun 2 dilakukan pengambilan sampel pada kedalaman 1,2,3,4,5,6,8,10 meter dengan menggunakan botol Niskin. Kedalaman 7 dan kedalaman 9 tidak dilakukan pengambilan sampel air karena diasumsikan sudah dapat diwakilkan oleh

kedalaman 8 dan 10 dimana konsentrasi klorofil akan semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Sedangkan pada stasiun 3 dan 4 pengambilan sampel dilakukan pada kedalaman 1, 2, 3, 4 dan 5 meter, sedangkan stasiun 5 pada kedalaman 1, 2 meter. Dari 3 titik tersebut, air yang berasal dari kedalaman yang sama kemudian dicampur antara yang satu dengan yang lain dan hasil campuran tadi kemudian dijadikan sebagai data sampel. Pada saat yang sama juga dilakukan pengukuran nilai "*spectral reflectance*" dari perairan dengan menggunakan spektrometri. Sensor spektrometri ditempatkan di kapal dengan jarak 2 meter di atas permukaan air laut.

Pengolahan Data Klorofil-a

Pada hari pertama pengambilan sampel air dilakukan di sekitar Pulau Pramuka dan Pulau Pari pada pukul 13.20 wib dimana kondisi cuaca cukup cerah sehingga matahari dapat menembus kolom perairan. Hari kedua pengambilan sampel air dilakukan di sekitar Muara Angke pada pukul 09.40 wib. Jarak antar titik pengambilan sampel air sekitar 5 menit dengan menggunakan kapal bermotor. Air sampel selanjutnya diberi $MgCO_3$, sebagai pengawet.

Berikutnya dilakukan pengolahan sampel di Laboratorium, untuk mengetahui konsentrasi klorofil-a di dalam air sampel. Sampel air selanjutnya disaring dengan menggunakan kertas milipore berdiameter 47 mm. Penyaringan dibantu dengan pompa tekan hisap (*hand pump*). Pada keadaan sebelum dan sesudah penyaringan selesai, kertas dibilas dengan menggunakan larutan $MgCO_3$. Selanjutnya hasil saringan dibungkus dengan aluminium foil dan

disimpan dalam *freezer* (pendingin) sampai proses ekstraksi dikerjakan.

Ekstraksi sampel dilakukan dengan menggerus sampel dalam pelarut aseton 90% dengan tissue grinder. Ekstrak selanjutnya dibiarkan beberapa saat dalam wadah kedap cahaya. Kemudian sampel disentrifus dan dicatat nilai ekstensinya dengan menggunakan spektrometri.

Setelah melalui pengolahan sampel di laboratorium, maka hal lain yang dilakukan yaitu mencari konsentrasi klorofil-a berdasarkan formula yang disiapkan dan dipublikasikan oleh: *American Public Health Association, American Water Works Association* dan *Water Environment Federation*. Formula tersebut adalah sebagai berikut ini:

$$\text{Chl-a} = \frac{\text{Ca} \times \text{V}}{\text{S}}$$

Dimana:

Chl-a : konsentrasi klorofil-a (mg/l)

Ca : indeks klorofil

V : volume sampel yang diekstrak

S : volume sampel yang diambil

Untuk keperluan konversi ke produktivitas primer, maka satuan untuk klorofil-a yang semula mg/l, maka untuk selanjutnya akan diganti menjadi mg/m^3 . Dimana proses konversinya melalui cara yaitu: $\text{Chl-a (mg/l)} \times 1000$

Pengolahan Data Spektrometri

Data yang diperoleh dari spektrometri masih berupa nilai negatif. Untuk keperluan transformasi data, maka kemudian nilai tersebut dibuatkan nilai absolutnya

Penyusunan Algoritma

Gitelson *et al.* (1993) memberikan formula untuk mengkombinasikan kanal yaitu:

$$Z = \frac{(\text{Ractive} - \text{Rreference})}{(\text{Ractive} + \text{Rreference})}$$

Namun koreksi atmosfer tidak dilakukan karena alat yang digunakan untuk memperoleh nilai klorofil-a yaitu spektrometri hanya berada sekitar 2 meter dari permukaan air laut yang artinya alat tersebut tidak terhalang oleh awan dalam memperoleh nilai reflektansi klorofil-a sehingga tidak perlu dilakukan koreksi atmosfer.

Untuk pembuatan persamaan regresi (algoritma) maka kanal yang akan dipakai adalah kanal 1, kanal 2, kanal 9 dan kanal 10 dari spektrometri, karena panjang gelombang radiasi elektromagnetik yang dapat diindera oleh keempat kanal tersebut memiliki hubungan erat terbaik dengan [Chl-a] yang akan diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang dilakukan diuraikan dalam beberapa sub bahasan yang mencakup beberapa hal yaitu, penentuan kombinasi kanal untuk pendugaan konsentrasi klorofil-a, penyusunan algoritma, pengujian model dan transformasi nilai konsentrasi klorofil-a menjadi nilai produktivitas primer.

Penentuan Kombinasi Kanal untuk Pendugaan Konsentrasi Klorofil-a

Daerah Teluk Jakarta dan sekitarnya merupakan daerah perairan yang memiliki konsentrasi padatan tersuspensi lebih banyak daripada konsentrasi klorofil, sehingga wilayah penelitian diasumsikan

tergolong perairan kasus dua (Robinson, 1985). Pendugaan klorofil-a pada kasus perairan dua cukup rumit karena konsentrasi klorofil-a jauh lebih kecil dibandingkan konsentrasi MPT (Muatan Padatan Tersuspensi) dan *yellow substance*. Oleh karena itu harus dilakukan penelitian kanal yang tepat dan memiliki sifat optik yang peka (sensitif) terhadap konsentrasi klorofil-a agar kesalahan dalam interpretasi dapat diminimumkan.

Pendugaan sebaran “konsentrasi klorofil-a” selanjutnya [Chl-a] pada penelitian ini, akan menggunakan perbandingan kanal ($\text{kanal}_{\text{aktif}} - \text{kanal}_{\text{reference}} / \text{kanal}_{\text{aktif}} + \text{kanal}_{\text{reference}}$) yang diajukan oleh Gitelson *et al.* (1993). Diperlukan 2 kanal yang berfungsi sebagai kanal yang aktif (sensitif) dan kanal refence (kurang sensitif) untuk diperbandingkan.

Untuk pembuatan persamaan regresi (algoritma) maka kanal yang akan dipakai adalah kanal 1, kanal 2, kanal 9 dan kanal 10 dari spektrometri, karena panjang gelombang radiasi elektromagnetik yang dapat diindera oleh keempat kanal tersebut memiliki hubungan erat terbaik dengan [Chl-a] yang akan diamati.

Maul (1985), menyimpulkan bahwa titik puncak pertama penyerapan berada pada selang panjang gelombang 400-500 nm dan titik puncak kedua pada selang 600-700 nm. Kesimpulan ini juga didukung oleh pendapat dari Lillesand dan Kiefer (1990) yang mengungkapkan bahwa, penyerapan klorofil-a berpusat pada panjang gelombang 450 nm dan panjang gelombang 650 nm. Tingginya koefisien penyerapan pada kedua selang panjang gelombang tersebut menunjukkan eratnya hubungan antara panjang gelombang yang bersangkutan dengan klorofil-a. Diketahui pula bahwa kedua selang panjang gelombang yang

memiliki kisaran koefisien penyerapan terbesar tadi, berada pada kisaran panjang gelombang yang dapat diindera oleh sensor yang terdiri atas kanal 1 (460±25nm), kanal 2 (460±35nm), kanal 9 (660±25nm) dan kanal 10 (660±35nm) spektrometri. Untuk pengolahan algoritma penduga sebaran [Chl-a] berikutnya, maka akan digunakan kanal 1, kanal 2, kanal 9 dan kanal 10. Dengan demikian maka untuk sementara variabel bebas penduga sebaran klorofil-a adalah:

$$X_1 = \frac{(K_2 - K_{10})}{(K_2 + K_{10})}$$

$$X_2 = \frac{[K(1 + 2)/2] - [K(9 + 10)/2]}{[K(1 + 2)/2] + [K(9 + 10)/2]}$$

Penyusunan Model Algoritma

Estimasi algoritma dilakukan dengan meregresikan variabel bebas X dengan variabel tak bebas Y. Sebelum melakukan regresi linear antara variabel X dengan variabel tak bebas Y, terlebih dahulu dilakukan berbagai macam operasi untuk memperoleh kombinasi X dan Y yang terbaik. Berdasarkan hasil penentuan kanal yang ditentukan maka untuk sementara ada 2 variabel bebas X yaitu:

$$X_1 = \frac{(K_2 - K_{10})}{(K_2 + K_{10})} \quad \text{atau} \quad \frac{b_1}{b_2}$$

$$X_2 = \frac{[K(1 + 2)/2] - [K(9 + 10)/2]}{[K(1 + 2)/2] + [K(9 + 10)/2]} \quad \text{atau} \quad \frac{c_1}{c_2}$$

variabel tak bebas Y adalah [Chl-a]. Untuk melihat keeratan hubungan antara ke-2

variabel maka perlu dilihat koefisien korelasi antara ke-2 variabel. Setelah dilakukan perhitungan korelasi berdasar regresi linear sederhana dengan 2 variabel antara variabel X_1 dan Y diperoleh nilai koefisien korelasinya = 0,698999284 serta antara variabel X_2 dan Y diperoleh nilai koefisien korelasinya = 0,607536007. Agar diperoleh korelasi yang lebih besar, dapat dilakukan metode transformasi terhadap variabel bebasnya. Pada penelitian ini digunakan 3 jenis transformasi yaitu log X , Ln X dan X^2 . Alasan penggunaan dari suatu transformasi tergantung pada sifat dari data itu sendiri. Bentuk transformasi yang paling mendekati terhadap komposisi klorofil secara vertikal di dalam kolom air adalah log X , Ln X dan X^2 . Setelah melalui perhitungan regresi, maka diperoleh nilai korelasi tertinggi adalah untuk kombinasi

kanal $\left[\frac{(K2 - K10)}{(K2 + K10)} \right]^2$ yaitu sebesar 0.698927750.

Disamping model algoritma di atas, maka dalam penelitian ini akan dibuat model algoritma lain dengan terlebih dahulu membedakan antara data pengambilan sampel air sebelum pukul 12.00 wib dengan data setelah pukul 12.00 wib dan faktor kedalaman, dimana hal ini dilakukan agar dapat menghasilkan model algoritma yang lebih baik lagi. Setelah memplotkan antara data klorofil yang diperoleh secara insitu dengan kedalaman maka diperoleh bahwa kedalaman yang baik sebagai pengambilan sampel air pada penelitian ini adalah pada kedalaman 1–5 meter di bawah permukaan air laut.

Semakin dekat dengan daratan konsentrasi klorofil semakin meningkat. Ada beberapa faktor yang mengakibatkan hal tersebut terjadi yaitu: Pertama, perairan

pantai menerima sejumlah besar unsur-unsur kritis, yaitu P dan N dalam bentuk PO_4 dan NO_3 , melalui *runoff* dari daratan (dimana kandungan zat hara jauh lebih baik). Karenanya perairan pantai tidak kekurangan zat hara. Faktor kedua adalah bahwa pada umumnya perairan pantai kedalaman airnya dangkal, bahkan lebih dangkal daripada kedalaman kritis. Dengan demikian pada cuaca apapun, fitoplankton tidak mungkin terseret ke bawah kedalaman kritis. Bila intensitas cahaya cukup, produksi dapat terus berlangsung, bahkan juga dalam musim dingin. Faktor ketiga ialah bahwa dalam perairan pantai jarang terdapat termoklin permanen, sehingga tidak ada zat hara yang terperangkap di dasar perairan. Faktor terakhir yaitu banyaknya bahan reruntuhan dan serasah yang berasal dari daratan yang dapat membatasi kedalaman zona fotik dan dengan demikian menyebabkan tingginya kadar zat hara, serta dangkalnya perairan.

Model algoritma yang akan dicobakan yaitu:

$$Y = aX_1$$

$$Y = aX_1 + bX_2$$

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3$$

Dimana:

$$Y = [Chl-a],$$

$$X_1 = \text{kanal 1 (kanal biru)}$$

$$X_2 = \text{kanal 5 (kanal hijau),}$$

$$X_3 = \text{kanal 9 (kanal merah)}$$

model algoritma yang lain yaitu:

$$Y = aX_4$$

$$Y = aX_4 + bX_5$$

$$Y = aX_4 + bX_5 + cX_6$$

Dimana:

$Y = [Chl-a]$,

$X_4 =$ kanal 2 (kanal biru)

$X_5 =$ kanal 6 (kanal hijau),

$X_6 =$ kanal 10 (kanal merah)

Setelah melalui perhitungan regresi dengan menggunakan program SPSS 15.00 for Windows, maka dihasilkan koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal $K1^2+K5+K9$ yaitu sebesar 0.187 dan 2.5% dengan menggunakan data sebelum pukul 12.00 wib dan kedalaman 1 – 5 meter, sedangkan untuk data setelah pukul 12.00 wib diperoleh koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal $K1^2+K5^2+K9^2$ yaitu sebesar 0.488 dan 23.8%

Dengan cara yang sama, maka dihasilkan koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal $K2^2+K6^2+K10^2$ yaitu sebesar 0.386 dan 14.9% dengan menggunakan data sebelum pukul 12.00 wib dan kedalaman 1 – 5 meter, sedangkan untuk data setelah pukul 12.00 wib diperoleh koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal $K2^2+K6^2+K10^2$ yaitu sebesar 0.637 dan 0.6%. Dengan menggunakan cara yang sama tetapi dengan lebih memperkecil selang kedalaman menjadi 1 – 3 meter, maka dihasilkan koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal $K1^2+K5^2+K9^2$ yaitu sebesar 0.702 dan 49.3% dengan menggunakan data sebelum pukul 12.00 wib, sedangkan untuk data setelah pukul 12.00 wib diperoleh koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi ada pada 13 kombinasi kanal yaitu:

Tabel 1. Nilai Determinasi (R^2) dan Korelasi (r) untuk 13 Kombinasi Kanal Terbaik

No	KOMBINASI KANAL	R^2	r
1	$Y - K1+k5+K9$	99.8%	0.999
2	$Y - K1+\log K5+\log K9$	99.8%	0.999
3	$Y - K1+K5+\log K9$	99.8%	0.999
4	$Y - \log K1+K5+K9$	99.8%	0.999
5	$Y - K1^2+K5+K9$	99.8%	0.999
6	$Y - K1+K5^2+K9$	99.8%	0.999
7	$Y - K1+K5+K9^2$	99.8%	0.999
8	$Y - \ln K1+K5+K9$	99.8%	0.999
9	$Y - K1+\ln K5+K9$	99.8%	0.999
10	$Y - K1+K5+\ln K9$	99.8%	0.999
11	$Y - \log K1+K5+\log K9$	99.8%	0.999
12	$Y - \log K1+\log K5+\log K9$	99.8%	0.999
13	$Y - K1^2+K5^2+K9^2$	99.8%	0.999

Dengan cara yang sama, maka dihasilkan koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal $K2^2+K6^2+K10^2$ yaitu sebesar 0.331 dan 10.9% dengan menggunakan data sebelum pukul 12.00 wib dan kedalaman 1 – 3 meter, sedangkan untuk data setelah pukul 12.00 wib diperoleh koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal $K2+K6+K10^2$ yaitu sebesar 0.908 dan 82%.

Dengan menggunakan cara yang sama untuk kombinasi kanal yang diajukan oleh Gitelson *et al.* (1993) yaitu:

$$Z = \frac{(R_{active} - R_{reference})}{(R_{active} + R_{reference})}$$

bila dirubah kedalam kanal Spektroradiometer, maka akan menjadi:

$$X = \frac{[K(1 + 2)/2] - [K(9 + 10)/2]}{[K(1 + 2)/2] + [K(9 + 10)/2]} \text{ atau } \frac{c_1}{c_2}$$

Koefisien korelasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal $\left[\frac{c_1}{c_2} \right]^2$ yaitu sebesar 0.218840987 dengan menggunakan data di bawah pukul 12.00 wib dan kedalaman 1 – 5 meter, sedangkan untuk data setelah pukul 12.00 wib diperoleh koefisien korelasi tertinggi adalah untuk kombinasi kanal Ln $\left[\frac{c_1}{c_2} \right]$ yaitu sebesar 0.19849332.

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa ada 13 kombinasi kanal yang mempunyai nilai korelasi paling besar yang sama. Menurut Sembiring (1995), untuk menentukan algoritma yang lebih baik apabila ada lebih dari satu algoritma yang memiliki nilai korelasi yang sama, maka kita dapat memilihnya dengan melihat nilai dari jumlah rata-rata kuadrat sisanya atau KTSnya. Semakin kecil nilai KTS maka algoritma yang diperoleh akan semakin baik. Berikut tabel nilai KTS dari 13 kombinasi kanal tersebut:

Tabel 2. Nilai KTS dari 13 Kombinasi Kanal Terbaik

NO	Kombinasi Kanal	Nilai KTS
1	Y – K1+k5+K9	8.2493x10 ⁻¹⁶
2	Y - K1+logK5+logK9	7.6498x10 ⁻¹⁶
3	Y – K1+K5+logK9	8.2345x10 ⁻¹⁶
4	Y – logK1+K5+K9	8.2876x10 ⁻¹⁶
5	Y – K1 ² +K5+K9	8.2265x10 ⁻¹⁶
6	Y – K1+K5 ² +K9	8.9246x10 ⁻¹⁶
7	Y – K1+K5+K9 ²	8.2762x10 ⁻¹⁶
8	Y – Ln K1+K5+K9	8.2876x10 ⁻¹⁶
9	Y – K1+LnK5+K9	7.6430x10 ^{-16*}
10	Y – K1+K5+LnK9	8.2345x10 ⁻¹⁶
11	Y – LogK1+K5+LogK9	8.2599x10 ⁻¹⁶
12	Y – LogK1+LogK5+LogK9	7.6512x10 ⁻¹⁶
13	Y – K1 ² +K5 ² +K9 ²	8.9147x10 ⁻¹⁶

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa kombinasi kanal yang mempunyai nilai

KTS paling kecil adalah K1+LnK5+K9, sehingga variabel bebas yang akan digunakan adalah K1+LnK5+K9 dan dapat disimpulkan bahwa kanal dan transformasi terbaik adalah K1+LnK5+K9 dengan menggunakan data [Chl-a] dan data reflektansi klorofil-a setelah pukul 12.00 wib dan kedalaman 1-3 meter, karena memiliki nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasi terbesar yaitu 99.8% dan 0.999 serta nilai KTS yang paling kecil yaitu 7.6430x10⁻¹⁶. Dengan demikian maka, untuk variabel bebasnya kita menggunakan 3 variabel bebas yaitu X1 = K1, X2 = LnK5, X3 = K9 dan variabel tak bebasnya Y = [Chl-a]. Dengan menggunakan Program SPSS 15.00 for Windows maka diperoleh [Chl-a] = - 5.4170x10⁻⁵ + 5.2882x10⁻⁶ K1 + 3.0598x10⁻⁶ LnK5+ 4.4079x10⁻⁶ K9. Selanjutnya model tersebut akan disebut sebagai Algoritma Akhir.

Pengujian Model

Uji yang dilakukan terhadap model adalah uji F dan uji t. Melalui perhitungan regresi yang dilakukan, diperoleh nilai seperti Tabel 3. Berdasarkan analisis regresi-korelasi, algoritma memiliki nilai korelasi r = 0.999. Dengan demikian pada algoritma yang diperoleh, terdapat hubungan yang sangat erat antara variabel bebas K1 + LnK5 + K9 dengan variabel tak bebas [Chl-a]. Algoritma juga dapat dikatakan mampu menjelaskan 99.8% permasalahan yang diamati.

Pada pengujian algoritma, diperoleh F_{hitung} sebesar 335.0714. Oleh karena nilai F_{tabel} dengan db (3,2) pada taraf nyata 1% adalah 99.16 maka F_{hitung} > F_{tabel}. Hal ini berarti bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara variabel bebas K1 + LnK5

+ K9 terhadap perubahan nilai variabel tak bebas [Chl-a]

Tabel 3. Uji Keandalan Model Algoritma Akhir

KETERANGAN	HASIL	
Model Umum Y = $\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$	[Chl-a] = $-5.4170 \times 10^{-5} + 5.2882 \times 10^{-6} K1 + 3.0598 \times 10^{-6} \text{LnK5} + 4.4079 \times 10^{-6} K9$	
Uji F		F _{hitung} > F _{tabel}
F _{hitung}	335.0714	
F _{tabel}	99.16	
Taraf Nyata	1%	
Uji t untuk β_0		t _{hitung} > t _{tabel}
t _{hitung}	25.0084	
t _{tabel}	9.9250	
Taraf Nyata	1%	
Uji t untuk β_1		t _{hitung} > t _{tabel}
t _{hitung}	15.3558	
t _{tabel}	9.9250	
Taraf Nyata	1%	
Uji t untuk β_2		t _{hitung} > t _{tabel}
t _{hitung}	20.7006	
t _{tabel}	9.9250	
Taraf Nyata	1%	
Uji t untuk β_3		t _{hitung} > t _{tabel}
t _{hitung}	16.3683	
t _{tabel}	9.9250	
Taraf Nyata	1%	
Selang Kepercayaan untuk		
β_0	$-7.5669 \times 10^{-5} < \beta_0 < -3.2672 \times 10^{-5}$	
β_1	$1.8703 \times 10^{-6} < \beta_1 < 8.7062 \times 10^{-6}$	
β_2	$1.5928 \times 10^{-6} < \beta_2 < 4.5269 \times 10^{-6}$	
β_3	$1.7352 \times 10^{-6} < \beta_3 < 7.0806 \times 10^{-6}$	

Pada uji-t yang dilakukan terhadap algoritma akhir diatas, nilai t hitung untuk $b_0 = 25.0084$, $b_1 = 115.3558$, $b_2 = 20.7006$ maupun untuk $b_3 = 16.3683$ lebih besar dibandingkan dengan $t_{tabel} = 9.9250$ dengan dB (3) dan taraf 1%. Berdasarkan hasil tersebut maka berhasil tolak Ho pada uji t untuk b_0, b_1, b_2, b_3 karena $\beta_0 \neq 0, \beta_1 \neq 0, \beta_2 \neq 0$ dan $\beta_3 \neq 0$. Hal ini dapat dibuktikan juga untuk Selang Kepercayaan pada taraf nyata 1% yang dimiliki $\beta_0, \beta_1, \beta_2$, dan β_3 . Selang Kepercayaan β_0 adalah-

$7.5669 \times 10^{-5} < \beta_0 < -3.2672 \times 10^{-5}$, Selang Kepercayaan β_1 adalah $1.8703 \times 10^{-6} < \beta_1 < 8.7062 \times 10^{-6}$, Selang Kepercayaan β_2 adalah $1.5928 \times 10^{-6} < \beta_2 < 4.5269 \times 10^{-6}$ dan Selang Kepercayaan β_3 adalah $1.7352 \times 10^{-6} < \beta_3 < 7.0806 \times 10^{-6}$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa, berdasarkan nilai $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ dan β_3 persamaan yang diperoleh tidak akan menyebabkan pengaruh variabel bebas terhadap variabel tak bebasnya = 0. Berikut ditampilkan perbandingan antar kombinasi kanal terbaik:

Tabel 4. Perbandingan Kombinasi Kanal Terbaik

Kombinasi Kanal	Korelasi Terbaik	Keterangan
[Chl-a]- (K2-K10)/(K2+K10)	0.6989	Gitelson <i>et al.</i> (1983) (umum)
[Chl-a]- K1 ² +K5+K9	0.187	Waktu: sebelum 12.00 wib Kedalaman: 1 – 5 m
[Chl-a] - K1 ² +K5 ² +K9 ²	0.488	Waktu: setelah 12.00 wib Kedalaman: 1 – 5 m
[Chl-a] - K2 ² +K6 ² +K10 ²	0.386	Waktu: sebelum 12.00 wib Kedalaman: 1 – 5 m
[Chl-a] - K2 ² +K6 ² +K10 ²	0.637	Waktu: setelah 12.00 wib Kedalaman: 1 – 5 m
[Chl-a] - K1 ² +K5 ² +K9 ²	0.702*	Waktu: sebelum 12.00 wib Kedalaman: 1 – 3 m
[Chl-a] - K1+LnK5+K9	0.999*	Waktu: setelah 12.00 wib Kedalaman: 1 – 3 m
[Chl-a] - K2 ² +K6 ² +K10 ²	0.331	Waktu: sebelum 12.00 wib Kedalaman: 1 – 3 m
[Chl-a] - K2+K6+K10 ²	0.908	Waktu: setelah

		12.00 wib Kedalaman: 1 – 3 m
$[Chl-a] - (k_1, 2 - k_9, 10 / K_1, 2 + K_9, 10)^2$	0.219	Gitelson <i>et al.</i> (1983) Waktu: sebelum 12.00 wib Kedalaman: 1 – 5 m
$[Chl-a] - Ln(k_1, 2 - k_9, 10 / K_1, 2 + K_9, 10)^2$	0.198	Gitelson <i>et al.</i> (1983) Waktu: setelah 12.00 wib Kedalaman: 1 – 5 m

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa kombinasi kanal terbaik adalah $K_1 + LnK_5 + K_9$ sebagai peubah tak bebasnya dan [Chl-a] sebagai peubah bebasnya dengan data [Chl-a] setelah pukul 12.00 wib dan kedalaman 1 – 3 m.

KESIMPULAN

Pemetaan sebaran konsentrasi klorofil-a di lokasi penelitian memerlukan pemilihan kanal yang tepat. Terutama karena lokasi penelitian tergolong perairan kasus 2, yaitu perairan yang sebagian besar terdiri dari sedimen tersuspensi. Berdasarkan proses pemilihan kanal yang dilakukan dengan spektrometri, terpilih kanal yang mempunyai selang yang sempit yaitu kanal 1 (kanal biru) dengan panjang gelombang (460±25nm), kanal 5 (kanal hijau) dengan panjang gelombang (560±25nm), dan kanal 9 (kanal merah) dengan panjang gelombang (660±25nm) spektrometri sebagai kanal yang optimal untuk menduga sebaran konsentrasi klorofil-a.

Secara uji statistik kombinasi $K_1 + LnK_5 + K_9$ merupakan kombinasi kanal terbaik untuk menduga sebaran konsentrasi

klorofil-a, khususnya di perairan Kepulauan Seribu dan sekitarnya. Algoritma yang dihasilkan penelitian ini optimal untuk menduga konsentrasi klorofil-a pada kedalaman 1–3 meter dengan waktu pengambilan sampel setelah pukul 12.00 wib.

DAFTAR PUSTAKA

Gitelson, A. G., G. Szylogyi, K. H. Mitterzwe, A. Carnichi. N. A. Kaiser. 1993. Quantity Remote Sensing Method for Real Time of Inland Water Quality. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 14, No. 7, 1269 – 1295 pp

Lillesand, T. M., and F. W. Kiefer. 1990. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra. Alih Bahasa : Duhari dkk. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 725 halaman

Maul, G. A. 1985. Introduction to Satellite Oceanography. Martinus Nijhoff Publisher. Netherlands

Raymond, J. E. G. 1963. Plankton Productivity in The Ocean. Pergamon Press. The Mac Milland Co. New York 600 p

Ryther and C. S. Yentsch. 1957. The Estimation of Phytoplankton Productivity in The Ocean From Chlorophyl Light Data. *Limnol. Oceanography* 2 : 281-286 p

Robinson, I. S. 1985. Satellite Oceanography. John Wiley dan Sons. New York. USA

Sembiring, R. K. 1995. Analisis Regresi.
ITB Bandung. 359 halaman

Remote Sensing). Fakultas Perikanan
dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor

Sutanto. 1992. Penginderaan Jauh Jilid I.
Gajah Mada University Press.
Yogyakarta

Soesilo, S. B. 1997. Penginderaan Jauh
Warna Air Laut (Ocean Colour