PROSIDING SEMINAR NASIONAL HIMPUNAN INFORMATIKA PERTANIAN INDONESIA 2009
ISBN : 978 – 979 – 95366 – 0 - 7

Pendugaan Distribusi Vertikal Klorofil-a Berdasarkan *Neural Network*

Ach. Fachruddin Syah[a], Jonson L. Gaol[b], dan Kudang B. Seminar[c]

[a]*Mahasiswa Pascasarjana Mayor Teknologi Kelautan*
Institut Pertanian Bogor
Tel ; (0251) 2237173
email:fahrudin_unijoyo@yahoo.com

[b]*Dosen Teknologi Kelautan*
Institut Pertanian Bogor
Tel: 081317070990
email:jonsonrt@yahoo.com

[c]*Dosen Teknik Pertanian*
Institut Pertanian Bogor
Tel: 08164834625
email:kseminar@ipb.ac.id

ABSTRACT

The primary production quantity depends on the vertical distribution of chlorophyll concentration in the water column. The chlorophyll maximum value not always observed near or at the sea surface, but sometimes lies deeper than bottom of the euphotic zone. In this case, the ocean color sensors cannot measure the chlorophyll maximum value. A shifted Gauss model has been proposed to describe the variation of the chlorophyll-a (Chl-a) profile which consists of four parameters, i.e. background biomass (B_0), maximum depth of Chl-a (Zm), total biomass in the peak (h), and measurenment of the thickness or vertical scale of the peak (δ). However, these parameters are not easy to be determined directly from satellite data. Therefore, in these research, an ANN methodology is used. Using in-situ data 1962 to 1985 in Banda Sea, the above parameters are calculated to derive the Chl-a concentration, sea surface temperature, mixed layer depth, latitude, longitude, and season. The total of 79 profiles of Chl-a and temperature are used for ANN. The correlation coefficient of these parameters are 0.912 (B_0), 0.871 (h), 0.986 (δ) and 0.990 (Zm) respectively. After comparing with in-situ data and ANN model, the result show not good enough agreement relatively.

Keywords: *Chlorophyll-a (Chl-a), Vertical Structure, Artificial Neural Networks (ANN)*

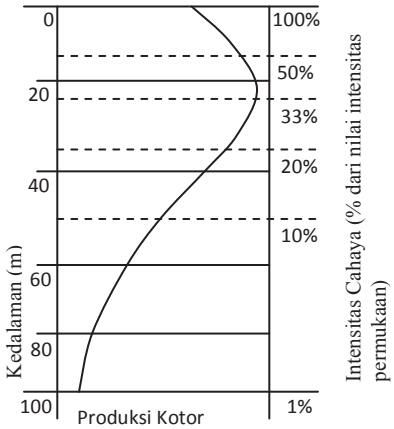
PENDAHULUAN

Fitoplankton adalah organisme laut yang melayang dan hanyut dalam air serta mampu berfotosintesis [6]. Fitoplankton sebagai tumbuhan yang mengandung pigmen klorofil, mampu melakukan reaksi fotosintesis, dimana air dan karbondioksida dengan adanya sinar matahari dari garam-garam hara dapat menghasilkan senyawa organik seperti karbohidrat. Fitoplankton bisa ditemukan di seluruh massa air mulai dari permukaan laut sampai pada kedalaman tertentu dengan intesitas cahaya yang masih memungkinkan terjadinya fotosintesis [5]. Energi yang digunakan dalam proses fotosintesis adalah cahaya matahari yang diabsorbsi oleh pigmen hijau (klorofil).

Klorofil-a merupakan salah satu parameter yang sangat menentukan produktivitas primer di laut. Sebaran dan tinggi rendahnya konsentrasi klorofil-a sangat terkait dengan kondisi oseanografi suatu perairan. Beberapa parameter fisika-kimia yang mengontrol dan mempengaruhi sebaran klorofil-a adalah suhu, cahaya, arus dan nutrient (terutama nitrat, fosfat, dan silikat) [1]; [2]; [6]; [10]. Pigmen-pigmen lainnya pada tumbuhan laut digunakan oleh klorofil untuk membantu mengabsorbsi cahaya yang tidak tertangkap secara maksimal oleh klorofil [11].

Pada tingkat intensitas cahaya yang sedang, laju fotosintesis fitoplankton merupakan fungsi linier dari intensitas cahaya. Namun di dalam kolom air dekat permukaan air di mana intensitas cahaya tinggi, kebanyakan spesies fitoplankton menunjukkan bahwa fotosintesis dipertahankan pada suatu tingkat tertentu atau bahkan fotosintesis malah akan menurun (Gambar 1).

ISBN : 978 – 979 – 95366 – 0 - 7



Gambar 1. Struktur Vertikal Klorofil pada Lapisan Permukaan Air dan pada Tiap Tingkatan Kolom Air yang Berbeda [5]

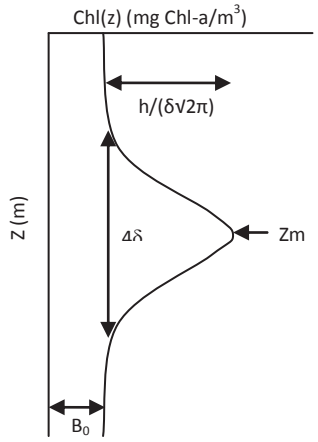
Tingkat kesuburan suatu perairan bergantung pada konsentrasi klorofil di kolom perairan. Nilai klorofil maximum tidak selalu berada di dekat atau di atas permukaan, tetapi terkadang berada lebih dalam di bawah daerah *eufotic* [8]. Pada kasus ini, sensor ocean color dari satelit tidak dapat menghitung nilai maksimum klorofil yang berada dibawah lapisan permukaan [3]. [9] mengusulkan menggunakan model distribusi Gauss, yang merepresentasikan distribusi vertikal klorofil dengan 4 parameter yaitu konsentrasi klorofil-a di permukaan laut (B_0), total klorofil-a di puncak (h), standar deviasi distribusi Gauss yang mengontrol ketebalan lapisan maksimum klorofil-a (δ), dan kedalaman konsentrasi klorofil-a maximum (Zm), sebagai solusi. Model Gauss dapat merepresentasikan keseragaman di atas dan di bawah nilai konsentrasi maksimum.

Persaman Gauss dapat dilihat pada persamaan 1, sedangkan gambar distribusi pergeseran Gauss untuk klorofil-a, ditampilkan pada Gambar 2.

$$\text{chl(z)} = B_0 + \frac{h}{\delta\sqrt{2\pi}} exp\left[-\frac{(Z-Zm)^2}{2\delta^2}\right] \quad \text{..... (1)}$$

Dimana:

Chl(z) : Konsentrasi klorofil ($mg.m^{-3}$) pada tiap kedalaman Z (m)
B_0 : konsentrasi klorofil di permukaan laut ($mg.m^{-3}$)
h : Total klorofil di puncak ($mg.m^{-2}$)
δ : Standard deviasi distribusi Gauss yang mengontrol ketebalan lapisan maksimum klorofil (m)
Zm : Kedalaman klorofil maksimum (m)



Gambar 2. Distribusi Pergeseran Gauss untuk [Chl-a] [6]

Parameter-parameter fungsi Gauss tidak mudah untuk ditentukan nilainya secara langsung dari data satelit. Salah satu pemecahan yang dapat digunakan untuk pendugaan parameter Gauss adalah dengan pengaplikasian kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) berupa ANN (*Artificial Neural Network*).

ANN utamanya digunakan untuk mendeskripsikan suatu fenomena yang non – linear, walaupun bisa juga untuk mendeskripsikan fenomena yang linear. Meskipun ada beberapa teknik untuk mewujudkan fungsi persamaan, *neural network* digunakan untuk menghasilkan nonlinier *input* dan *output*. Jika ada data set yang jarang menampilkan suatu karakteristik tertentu, ANN dapat mendekati hubungan nonlinier tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk untuk melakukan studi pendugaan distribusi biomassa klorofil-a secara vertikal di Perairan Laut Banda dengan menggunakan metode ANN.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Pencarian dan pengolahan data dilaksanakan pada bulan Maret 2009 – Mei 2009. Penelitian ini dilakukan di Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Alat dan Bahan

Daerah yang menjadi obyek penelitian adalah perairan Laut Banda dengan posisi 4^0LS – 8^0LS dan 126^0BT – 131^0BT. Bahan yang digunakan yaitu data konsentrasi klorofil-a, kedalaman, dan suhu air laut, posisi lintang dan bujur tahun 1962, 1963, 1972, 1973, 1984 dan 1985 yang diperoleh dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer beserta perlengkapannya seperti printer, dengan perangkat lunak seperti program *Artificial*

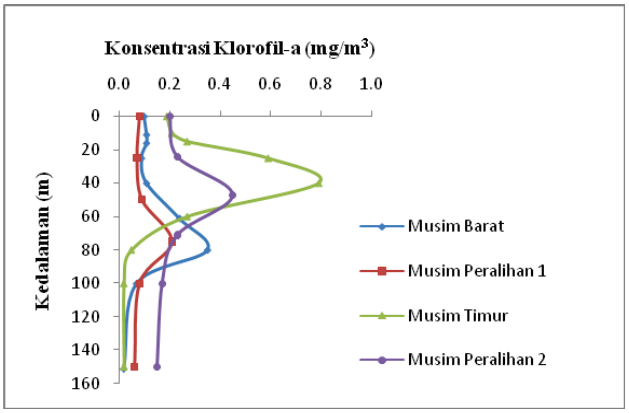
ISBN : 978 – 979 – 95366 – 0 - 7

Neural Network (ANN), ArcView GIS 3.3, Ms. Office Word 2007 dan Ms. Office Excell 2007.

Penentuan Data *Input-Output*

Dalam hal menentukan data input maka terlebih dahulu dilakukan *pra observasi analisis* terhadap data yang ada. Hal ini dimaksudkan agar kita bisa menentukan data yang tepat untuk dijadikan sebagai data input.

Data klorofil-a dan kedalaman digunakan untuk mengetahui profil secara vertikal klorofil-a di Laut Banda selama musim yang berbeda. Berikut gambar konsentrasi klorofil di Laut Banda secara vertikal pada musim yang berbeda.



Gambar 3. Konsentrasi Klorofil-a di Laut Banda pada Musim yang Berbeda

Penelitian ini menggunakan 6 masukan data *input* dan 4 masukan data *output*. Enam masukan data input yang digunakan yaitu kedalaman lapisan tercampur (*mixed layer depth*), suhu permukaan laut, konsentrasi klorofil-a ([Chl-a]) permukaan laut, lintang, bujur dan musim. Empat masukan data *output*nya yaitu konsentrasi klorofil-a di permukaan laut (B_0), total klorofil-a di puncak (h), standard deviasi distribusi Gauss yang mengontrol ketebalan lapisan maksimum klorofil (δ), dan kedalaman konsentrasi klorofil maximum (Zm).

Empat parameter Gauss, yang dijadikan sebagai masukan data *output*, diperoleh dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square Method*/LSM). Data yang digunakan untuk memperoleh parameter Gauss yaitu data *in situ* kedalaman dan konsentrasi klorofil-a.

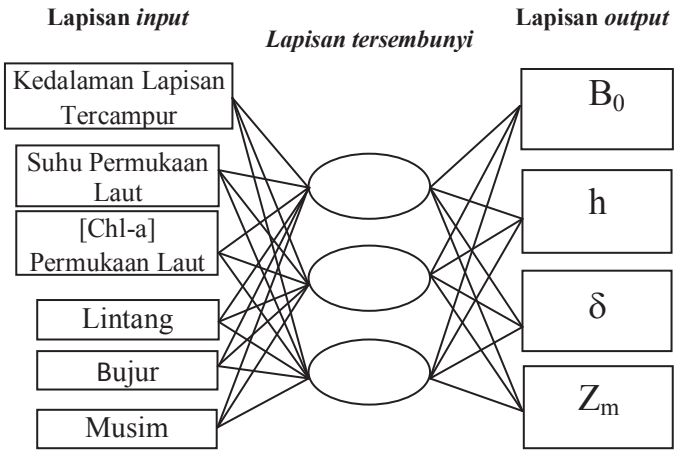
Pendugaan Parameter Gauss dengan ANN

ANN yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman *Borland Delphi 5.0* dengan menggunakan metode pembelajaran *backpropagation* yang dikembangkan oleh Rudiyanto *et al*. (2003). Kusumadewi (2003), mendefinisikan *backpropagation* sebagai algoritma pembelajaran yang terawasi dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan node-node yang ada pada lapisan tersembunyinya.

ANN yang digunakan adalah jaringan dengan lapisan jamak yang terdiri dari 3 lapisan (*layer*) yaitu, lapisan *input*, lapisan tersembunyi, dan lapisan *output*. Set data *input-output* merupakan data *in situ* dan data yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan LSM.

Seluruh set data yang diperoleh dikelompokkan menjadi dua kategori, yakni data *training* dan data validasi. Pengelompokan data dilakukan terhadap seluruh satuan data yang ada. Adapun terkait proporsi data, dilakukan dengan memberikan data *training* yang lebih besar dari pada data validasi.

Kinerja jaringan dinilai berdasarkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan nilai koefisien korelasi (r). Hasil ANN adalah nilai pembobot (w) yang menghubungkan *input-output*. Gambaran mengenai arsitektur ANN yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model ANN yang akan Dikembangkan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Gauss

Untuk dapat melakukan pengolahan data menggunakan ANN, maka terlebih dahulu kita harus mengetahui nilai data *input* dan nilai data *output* yang akan digunakan. Nilai rata-rata parameter-parameter Gauss dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

ISBN : 978 – 979 – 95366 – 0 - 7

Tabel 1. Nilai rata-rata Parameter Gauss pada Data *Training*

No	Parameter	Rata-rata
1.	B_0	0.0634
2.	h (skala log)	1.9260
3.	δ	45.1965
4.	Zm	51.3122

Tabel 2. Nilai rata-rata parameter Gauss pada Data Validasi

No	Parameter	Rata-rata
1.	B_0	0.0395
2.	h (skala log)	1.9598
3.	δ	45.0778
4.	Zm	51.1918

Dalam pengelompokan data yang dilakukan, data-data ekstrim baik maksimum dan minimum dikelompokkan ke dalam data *training*. Dari total 78 set data, proporsi untuk data *training* sebanyak 59 set data (75.64%), dan data validasi sebanyak 19 set data (24.36%).

Pendugaan Parameter Gauss dengan ANN

a. *Training*

Proses *training* diawali dengan memasukkan data *training* ke dalam program ANN. Tahapan selanjutnya adalah dengan melakukan *setting* parameter-parameter *training* yang akan digunakan seperti jumlah lapisan (*layer*) baik lapisan *input*, tersembunyi (*hidden*) dan *output*. *Setting* yang dilakukan meliputi jumlah node pada tiap lapisan, konstanta laju pembelajaran, momentum, gain dan target iterasi. Langkah berikutnya adalah melakukan *run-training* sampai mencapai optimum. Kondisi optimum terindikasi dengan jumlah iterasi atau nilai *error* yang diinginkan.

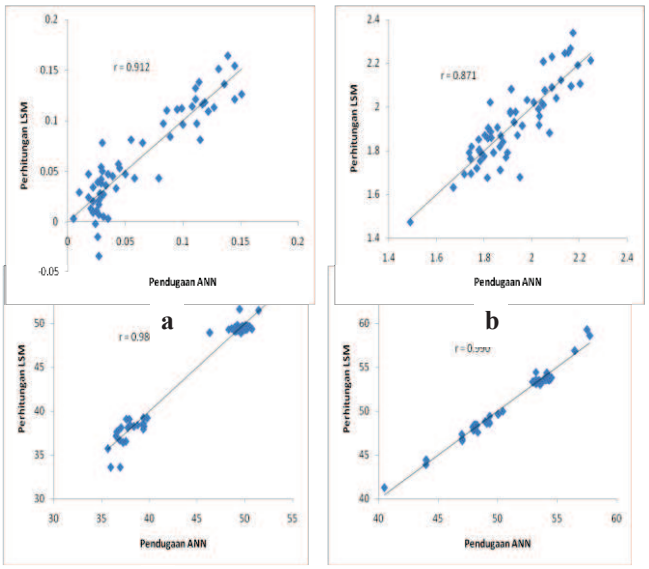
Parameter yang dijadikan standar dalam proses *training* yang dilakukan adalah nilai *error* yang diperoleh setelah tercapainya kondisi optimum. Nilai e*rror* itu sendiri timbul karena adanya perbedaan antara *output* aktual dengan *output* prediksi. Nilai *error* yang telah diperoleh berfungsi untuk meng-*update* bobot-bobot yang relevan dengan jalan mempropagasikan kembali *error*. Nilai yang biasa digunakan adalah RMSE (*Root Mean Square Error*). Nilai *error* pada proses *training* setelah pengulangan ke-50000 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *error* setelah pengulangan 50000

No	Parameter	RMSE
1.	B_0	0.0198
2.	h (skala log)	0.0889
3.	δ	0.9863
4.	Zm	0.4695

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa standar deviasi yang muncul pada saat membandingkan data hasil LSM dan ANN pada tiap-tiap parameter Gauss mempunyai nilai yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa proses *training* telah berjalan dengan baik.

Hal lain yang menunjukan bahwa proses *training* berjalan dengan cukup baik atau tidak, dapat dilihat berdasarkan nilai koefisien korelasinya (r). Pada Gambar 6 ditampilkan grafik hubungan yang menunjukkan nilai koefisien korelasi (r) hasil perhitungan menggunakan LSM dengan hasil pendugaan ANN untuk parameter (B_0), (h), (δ) dan (Zm).



Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai (a) B_0, (b) h (skala log), (c) δ dan (d) Zm hasil Perhitungan dengan LSM dan Pendugaan ANN

Berdasarkan Gambar 6, secara umum plot data perbandingan nilai antara yang diperoleh dengan menggunakan ANN dan LSM mempunyai hubungan yang cukup baik. Hal ini terlihat dari nilai koefisien korelasi (r) yang diperoleh untuk tiap-tiap parameter Gauss yang memperoleh nilai cukup tinggi yaitu lebih dari 0.85. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa proses *training* telah berhasil dilakukan dengan baik.

ISBN : 978 – 979 – 95366 – 0 - 7

b. Validasi Model

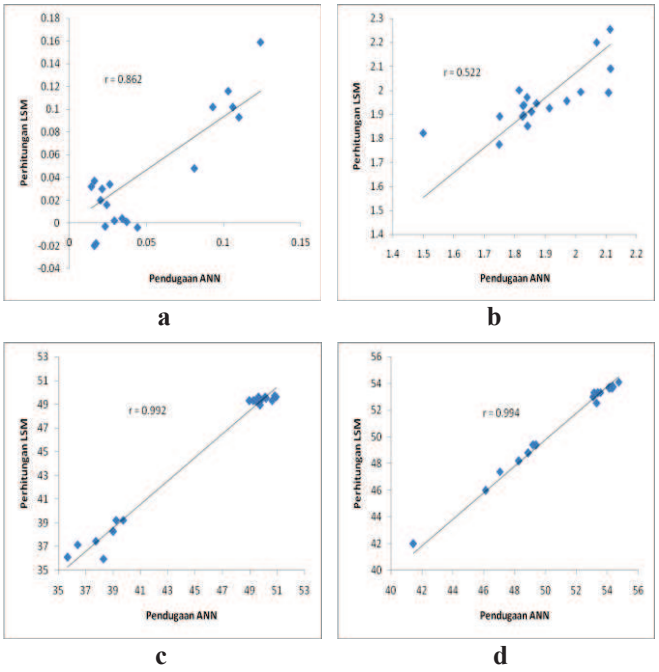
Setelah proses *training* dilakukan dan diperoleh model ANN yang baik, maka dilakukan validasi untuk mengetahui performansi model. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan model ANN yang telah diperoleh untuk menduga data lain yang tidak digunakan pada proses training. Laiknya proses *training,* standar *error* yang digunakan untuk melihat baik tidaknya proses validasi yang telah dilakukan adalah RMSE. Pada Tabel 4 ditampilkan nilai *error* yang diperoleh selama proses validasi.

Tabel 4. Nilai *error*

No	Parameter	RMSE
1.	B_0	0.0254
2.	h (skala log)	0.1195
3.	δ	0.8430
4.	Zm	0.4153

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa standar deviasi yang muncul pada saat membandingkan data hasil LSM dan ANN pada tiap-tiap parameter Gauss mempunyai nilai yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nilai yang signifikan antara nilai yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan LSM dan pendugaan ANN.

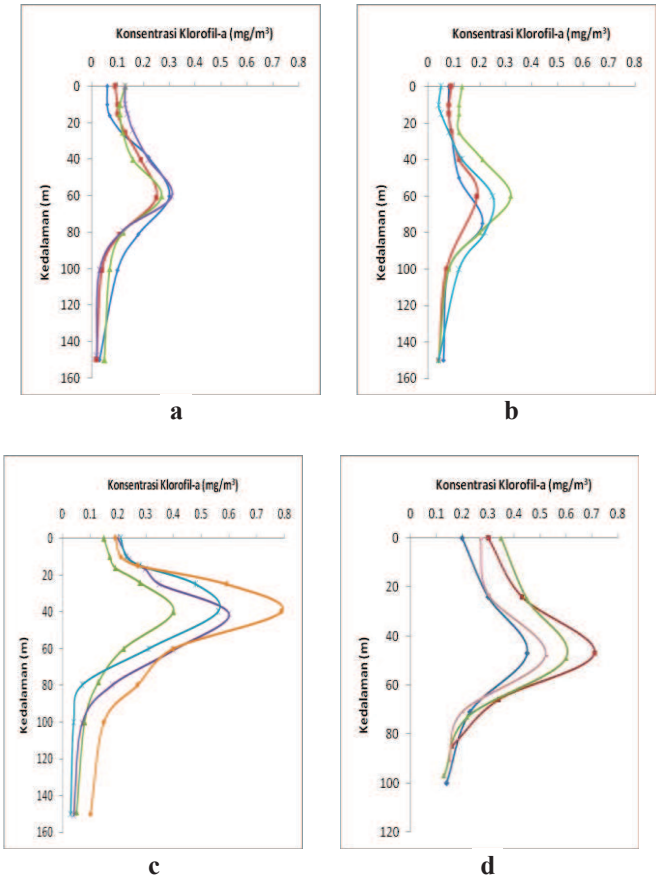
Pada proses validasi nilai koefisien korelasi (r) juga digunakan untuk menguji performansi model ANN yang dibangun selama proses training. Pada Gambar 7 ditampilkan grafik hubungan yang menunjukkan nilai koefisien korelasi (r) setelah proses validasi.



Gambar 7. Grafik Hubungan Nilai (a) B_0, (b) h (skala log), (c) δ dan (d) Zm hasil Pendugaan ANN dan Perhitungan dengan LSM

Secara umum plot data perbandingan antara nilai yang diperoleh menggunakan LSM dan ANN mempunyai hubungan yang cukup baik untuk parameter B_0, δ dan Zm dengan nilai koefisien korelasi (r) lebih dari 0.85. Akan tetapi hal ini tidak terjadi bagi parameter h yang hanya mempunyai nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0.522. Hal ini diduga disebabkan karena adanya perbedaan nilai maksimum konsentrasi klorofil-a antara musim yang satu dengan musim yang lain, terutama pada Musim Timur dan Peralihan 2 (lihat Gambar 8).

ISBN : 978 – 979 – 95366 – 0 - 7



Gambar 8. Konsentrasi Klorofil-a di Laut Banda pada Musim (a) Barat, (b) Peralihan 1, (c) Timur dan (d) Peralihan 2

Berdasarkan Gambar 8 dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan kedalaman dan nilai [Chl-a] maksimum antara musim yang satu dengan musim yang lain. Pada saat Musim Barat, [Chl-a] maksimum berada pada kedalaman sekitar 60 m dengan nilai [Chl-a] maksimum sekitar 0.3 mg/m^3. Hal ini cukup berbeda dengan musim yang lainnya, misalnya dengan Musim Timur. Pada Musim Timur, [Chl-a] maksimum berada pada kedalaman yang lebih dangkal yaitu sekitar 40 m dengan nilai [Chl-a] maksimum bisa mencapai 0.8 mg/m^3.

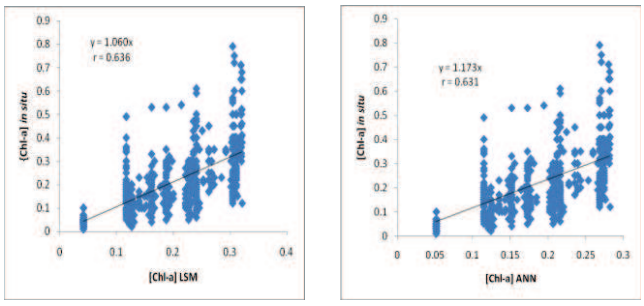
Perbandingan [Chl-a] *in situ*, [Chl-a] LSM dan [Chl-a] ANN

Setelah kita memperoleh nilai parameter-parameter Gauss tersebut, maka dapat diketahui nilai [Chl-a]. Pada Tabel 5 ditampilkan nilai rata-rata tiap parameter Gauss yang diperoleh dengan perhitungan LSM dan hasil pendugaan ANN.

Tabel 5. Nilai rata-rata parameter Gauss

No	Parameter	Rata-rata	
		LSM	ANN
1.	B_0	0.0395	0.0494
2.	h (skala log)	1.9598	1.8860
3.	δ	45.0777	45.5516
4.	Zm	51.1918	51.3841

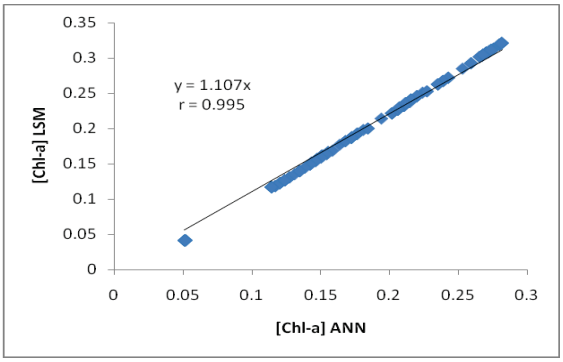
Dari Tabel 5 terlihat bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara nilai parameter Gauss yang diperoleh dengan perhitungan LSM dan hasil pendugaan ANN. Berdasarkan nilai-nilai parameter tersebut dan menggunakan persamaan 1, maka akan diperoleh nilai [Chl-a] LSM dan [Chl-a] ANN. Pada Gambar 9 ditampilkan hubungan antara nilai [Chl-a] LSM dengan nilai [Chl-a] *in situ* dan antara nilai [Chl-a] ANN dengan nilai [Chl-a] *in situ.*



Gambar 9. Gafik Hubungan Nilai [Chl-a] *in situ* dengan (a) Nilai [Chl-a] LSM dan (b) Nilai [Chl-a] ANN

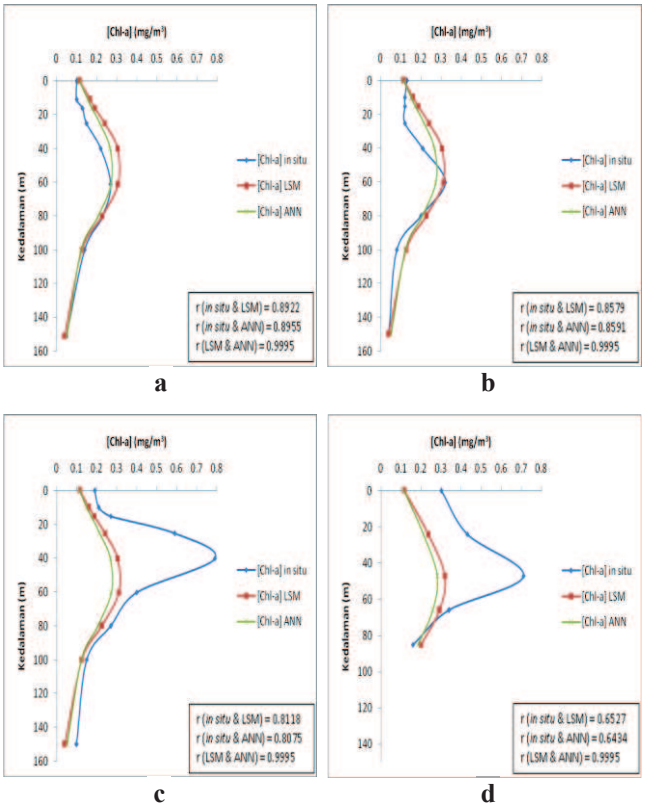
Berdasarkan Gambar 9 dapat diketahui nilai koefisien korelasi (r) antara nilai [Chl-a] berdasarkan nilai parameter Gauss yang diperoleh dengan perhitungan LSM dengan nilai [Chl-a] *in situ* adalah sebesar 0.636 dan nilai koefisien korelasi (r) antara nilai [Chl-a] berdasarkan nilai parameter Gauss hasil pendugaan ANN dengan nilai [Chl-a] *in situ* adalah sebesar 0.631. Hal ini menunjukkan bahwa nilai [Chl-a] ANN tidak jauh berbeda dengan nilai [Chl-a] LSM. Untuk lebih meyakinkan hal tersebut berikut ditampilkan hubungan antara nilai [Chl-a] ANN dan [Chl-a] LSM.

ISBN : 978 – 979 – 95366 – 0 - 7



Gambar 10. Grafik Hubungan Nilai [Chl-a] ANN dan [Chl-a] LSM

Berdasarkan Gambar 10 dapat diketahui bahwa nilai [Chl-a] ANN dan [Chl-a] LSM mempunyai hubungan yang baik. Hal ini dapat dilihat dari persamaan yang diperoleh dan nilai koefisien korelasi (r) yang cukup tinggi yaitu sebesar 0.995. Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa model ANN yang dikembangkan secara umum cukup mampu menduga nilai [Chl-a] yang diperoleh dari hasil perhitungan LSM. Pada Gambar 11 ditampilkan contoh perbandingan nilai [Ch-a] *in situ*, [Chl-a] LSM dan [Chl-a] ANN pada musim yang berbeda.



Gambar 11. Perbandingan Nilai [Chl-a] *in situ*, [Chl-a] LSM dan [Chl-a] ANN pada Musim (a) Barat, (b) Peralihan 1, (c) Timur dan (d) Peralihan 2

Berdasarkan Gambar 11 dapat diketahui bahwa pada Musim Barat dan Peralihan 1, nilai [Chl-a] *in situ*, [Chl-a] LSM dan [Chl-a] ANN mempunyai hubungan yang cukup baik diantara ketiganya. Hal ini terlihat dari nilai koefisien korelasi terkecil yang diperoleh yaitu sebesar 0.8922 pada Musim Barat dan 0.8579 pada Musim Peralihan 1.

Pada Musim Timur dan Peralihan 2, antara nilai [Chl-a] LSM dan [Chl-a] ANN mempunyai hubungan yang cukup baik dengan nilai koefisien korelasi (r) pada masing-masing musim adalah sama yaitu sebesar 0.995. Akan tetapi hal ini tidak terjadi antara nilai [Chl-a] LSM dengan [Chl-a] *in situ* dan antara [Chl-a] ANN dengan [Chl-a] *in situ*. Pada Musim Timur, [Chl-a] LSM dan [Chl-a] ANN dengan [Chl-a] *in situ* hanya memperoleh nilai koefisien korelasi masing-masing sebesar 0.8118 dan 0.8075. Pada Musim Peralihan 2, [Chl-a] LSM dan [Chl-a] ANN dengan [Chl-a] *in situ* hanya memperoleh nilai koefisien korelasi masing-masing sebesar 0.6527 dan 0.6434. Rendahnya nilai koefisien korelasi pada Musim Timur dan Peralihan 2 disebabkan karena adanya perbedaan kedalaman dan nilai konsentrasi klorofil-a maksimum dibandingkan dengan musim lainnya. Perbedaan ini berpengaruh terhadap keseragaman nilai parameter h yang diperoleh, sehingga parameter h kurang mampu diduga dengan baik.

Tingginya nilai konsentrasi klorofil-a pada musim Timur dan Musim Peralihan 2, diduga karena pada Musim Timur dan Musim Pancaroba 2 masih dipengaruhi oleh peristiwa proses penaikan massa air dari bawah menuju ke atas atau lebih dikenal dengan sebutan *upwelling*. Adanya *upwelling* menyebabkan nilai [Chl-a] maksimum mencapai nilai yang cukup tinggi dan berada pada kedalaman yang lebih rendah.

Hasil pemodelan ANN adalah nilai pembobot (*weight*) yang menghubungkan lapisan *input* dengan lapisan tersembunyi dan lapisan tersembunyi dengan lapisan *output*. Berdasarkan nilai pembobot-pembobot tersebut, maka model ANN dapat menduga nilai parameter-parameter Gauss dari suatu set data *input-output* baru yang belum digunakan dalam proses *training*.

SIMPULAN

Berdasarkan pengolahan set data *input-output* menggunakan ANN dapat disimpulkan bahwa hanya 3 parameter Gauss yang dapat diduga dengan baik yaitu parameter B_0, δ dan Zm, Parameter h kurang dapat dapat diduga dengan baik diakibatkan pola distribusi vertikal konsentrasi klorofil-a yang tidak homogen yakni berbeda berdasarkan musim. Oleh karena itu model yang diperoleh menjadi kurang mampu dalam menduga nilai [Chl-a] *in-situ* di Laut Banda sampai kedalaman tertentu sehingga model masih perlu dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat Hal ini dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi yang diperoleh antara data [Chl-a] ANN dengan [Chl-a] *in-situ* yang hanya memperoleh nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0.631. Namun demikian, metoda ANN yang digunakan mampu merepresentasikan distribusi konsentrasi klorofil-a secara vertikal yang terlihat dari nilai koefisien korelasi yang diperoleh antara data [Chl-a] LSM dengan [Chl-a] ANN yang sangat tinggi (0.99).

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Basmi, J., H. Effendi, dan S. B. Susilo. 1995. Studi Dinoflagellata dan Kemungkinannya sebagai Penyebab Red Tide di Teluk Jakarta dan Teluk Pelabuhan Ratu. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor.

[2]. Effendi, H. dan S. B. Susilo. 1998. Korelasi Kadar Klorofil dan Kelimpahan Fitoplankton pada Lapisan Eufotik di Perairan Pesisir Sekitar PLTN Krakatau Steel, Cilegon, Jawa Barat. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. 7(2):56 – 60

[3]. Gordon, H. R. and W. R. McCluney, 1975. Estimation of the Depth of Sunligth Penetration in the Sea for Remote Sensing. Appl. Opt., 14, 413-416

[4]. Kusumadewi, S. 2003. Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya). Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.

[5]. Nontji, A. 2002. Laut Nusantara. Penerbit Djambatan. Jakarta

[6]. Nybakken, J. W. 1992. Biologi Laut : Suatu Pendekatan Ekologis. Diterjemahkan oleh H. M. Eidman, Koesoebiano, D. G. Bengen, M. Hutomo dan S.Subarjo. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

[7]. Osawa, T., C. F. Zhao., N. I . Wayan., I. K. Swardika., dan Y. Sugimori. 2005. Vertical Distribution of Chlorophyll-a Based On Neural Network. International Journal Remote Sensing and Earth Science. Vol 2. 1-11

[8]. Parsons, T. R., M. Takahashi dan B. Hargrave. 1984. Biological Oceanography Procesess. Third Edition. Pargamon Press. New York. 330 p

[9]. Platt, T and Sathyendranth. 1988. Oceanic Primary Production: Estimation by Remote Sensing at Local and Regional Scales. Secience, 241, 1613-1620

[10]. Raymont, J. E. G. 1981. Plankton dan Produktivitas Bahari. Alih Bahasa: Koesoebiono. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor.

[11]. Sumich, J. L. 1992. An Introduction to The Biology of Marine Life. Fifth Edition. Wm, C. Brown Publisher. Oxford. England. 348 p.