



**ANALISA KLOORFIL- α , NITRAT DAN FOSFAT PADA VEGETASI MANGROVE
BERDASARKAN DATA LAPANGAN DAN DATA SATELIT GEOEYE
DI PULAU PARANG, KEPULAUAN KARIMUNJAWA
Agus Hartoko, Prijadi Soedarsono, Ayuningtyas Indrawati *)**

Jurusan Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedharto, SH, Tembalang Semarang. 50275 Telp/Fax (024) 7474698

Abstrak

Pulau Parang memiliki potensi sumberdaya alam vegetasi mangrove. Salah satu peran penting dari pohon mangrove adalah luruhan daun yang gugur (serasah). Sedimen di sekitar vegetasi mangrove kemudian bercampur dengan serasah yang merupakan sumber bahan organik. Unsur hara seperti nitrat dan fosfat yang terdeposit dalam sedimen merupakan unsur esensial bagi mangrove. Metode penelitian adalah eksploratif dengan teknik pengambilan sampel *purposive sampling*. Sampel daun mangrove dan sedimen kemudian dianalisa di laboratorium, sehingga didapatkan nilai kandungan klorofil-a, bahan organik, nitrat dan fosfat. Berdasarkan data lapangan dilakukan analisa yang bertujuan melihat hubungan antar variabel. Pengolahan data citra dilakukan di laboratorium MGC, untuk menganalisa klorofil-a berdasarkan data lapangan dan data satelit GeoEye. Hasil penelitian menunjukkan luas vegetasi mangrove pada lokasi penelitian stasiun 1, 2 dan 3 adalah 6,70 ha, 6,54 ha dan 6,36 ha. Jenis mangrove yang ditemukan adalah *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Bruguiera cylindrica* dan *Avicennia marina*. Jenis mangrove yang dominan adalah *Rhizophora mucronata*. Kerapatan vegetasi mangrove tergolong padat. Keanekaragaman jenis tergolong rendah dan keseragaman spesies sedang. Pemodelan algoritma kandungan klorofil-a berdasarkan data lapangan dan data satelit GeoEye bisa menghasilkan persamaan regresi untuk tiap jenis mangrove pada masing-masing stasiun serta terdapat keeratan hubungan antara klorofil-a lapangan dengan klorofil-a algoritma citra GeoEye. Hasil analisa data lapangan menunjukkan terdapat keeratan hubungan antara klorofil-a daun mangrove dengan nitrat, fosfat sedimen dan bahan organik dengan nitrat, fosfat.

Kata Kunci : Klorofil-a, Nitrat, Fosfat, Vegetasi Mangrove, GeoEye

Abstract

Parang Island has a potential natural resource of mangrove vegetation. One of the important roles of mangrove tree is the leaves (biomass). Sediment around mangrove vegetation then mixed with biomass and become the source of organic materials. The nutrients such as nitrate and phosphate that are deposited in the sediment are essential nutrients for mangrove. The research method is explorative with purposive sampling technique. Mangrove leaves and sediment samples were analyzed in the laboratory to get the value of the content of chlorophyll-a, organic material, nitrate and phosphate. Based on the field data so it was analyzed to observe the correlation among variables. Image data processing was conducted in the MGC laboratory to analyze chlorophyll-a based on the field and GeoEye satellite data. The research had showed extensive mangrove vegetation at the research location of first, second, and third stations are 6.70 ha, 6.54 ha and 6.36 ha. The types of mangrove found are *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Bruguiera cylindrica* and *Avicennia marina*. A dominant mangrove species is *Rhizophora mucronata*. Mangrove vegetation density at Parang Island is quite solid. The type diversity of mangrove vegetation is low and the type uniformity is medium. Modelling of chlorophyll-a based on the field data and GeoEye satellite data can produce regression equation for each species mangrove at each station. The regression equation value of chlorophyll-a field data with chlorophyll-a algorithm GeoEye satellite data indicate close correlation and similarity of the concentration of chlorophyll-a. The results of analysis on the field data indicate a close correlation between chlorophyll-a mangrove leaves with nitrate, phosphate sediments and organic materials with nitrate, phosphate.

Keywords: Chlorophyll-a, Nitrate, Phosphate, Mangrove Vegetation, GeoEye

1. Pendahuluan

Mangrove merupakan komunitas vegetasi pantai tropis dan sub tropis, berkembang pada daerah pasang surut, tumbuh di sepanjang garis pantai yang dangkal (Ellison *et. al.*, 1992 dalam Nagelkerken *et. al.*, 2008). Salah satu peran penting dari pohon mangrove adalah luruhan daun yang gugur (serasah). Sedimen yang ada di sekitar vegetasi mangrove kemudian bercampur dengan serasah yang berguguran. Unsur hara berupa bahan organik akan terdeposit dalam sedimen dan akan terdistribusi oleh faktor lingkungan. Kondisi tersebut menjadikan hutan mangrove sebagai penyumbang nutrisi ke ekosistem lain yang ada di sekitarnya. Unsur-unsur hara esensial merupakan hal yang mutlak dibutuhkan oleh suatu organisme seperti N dan P karena tidak dapat digantikan oleh unsur lain. Nitrat (NO_3) dan fosfat (PO_4) merupakan nutrisi utama yang menentukan kestabilan pertumbuhan vegetasi.

Penggunaan teknologi penginderaan jauh masih belum banyak digunakan dalam analisis klorofil-a pada vegetasi mangrove. Menurut Susilo (2000) dalam Wijaya (2005), penginderaan jauh untuk vegetasi mangrove didasarkan atas dua sifat penting yaitu bahwa mangrove mempunyai zat hijau daun (klorofil) dan mangrove tumbuh di pesisir. Dua hal ini akan menjadi pertimbangan penting di dalam mendeteksi mangrove melalui satelit. Sifat optik klorofil sangat khas yaitu bahwa klorofil menyerap spektrum sinar merah dan memantulkan dengan kuat spektrum inframerah.

Pulau Parang merupakan salah satu dari empat pulau di Kepulauan Karimun Jawa yang ditetapkan sebagai zona pemanfaatan yang dapat dikelola masyarakat sebagai kawasan budidaya. Pulau Parang memiliki potensi sumberdaya alam vegetasi mangrove. Sumberdaya hutan mangrove yang berada di Pulau Parang memiliki banyak fungsi, antara lain fungsi fisik, biologi, ekonomi (DKP Provinsi Jawa Tengah, 2011).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui: luas dan struktur komunitas vegetasi mangrove di Pulau Parang; pemodelan algoritma kandungan nilai klorofil-a untuk setiap jenis mangrove di masing-masing stasiun pengamatan berdasarkan data lapangan dan data satelit GeoEye serta hubungan nilai klorofil-a lapangan dengan nilai kandungan klorofil-a algoritma citra GeoEye; hubungan atau korelasi antara nitrat, fosfat dengan klorofil-a serta korelasi antara bahan organik dengan nitrat, fosfat lapangan

2. Materi dan Metode Penelitian

A. Materi Penelitian

Lingkup kegiatan dalam penelitian ini adalah ekosistem mangrove Pulau Parang yang digunakan untuk sampling data struktur komunitas vegetasi mangrove dan pengambilan sampel daun pohon mangrove serta sedimen, titik koordinat pohon yang diambil sampelnya, hasil analisa laboratorium kandungan nilai klorofil-a, bahan organik, nitrat, fosfat serta data citra satelit GeoEye Pulau Parang tahun 2011 untuk dilakukan pengolahan dengan data lapangan.

B. Metode Penelitian, Analisis Data dan Pengolahan Citra

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksploratif dengan teknik pengambilan sampel secara *purposive sampling*. Tahapan pengambilan sampel dan analisa data adalah sebagai berikut:

Penentuan lokasi sampling

Pengamatan sampel vegetasi dilakukan di tiga stasiun pengamatan yaitu Legon Batu Hitam, Legon Batu Merah dan Legon Ipik yang diharapkan mampu mewakili vegetasi mangrove yang terdapat di Pulau Parang.

Penelitian lapangan

Penelitian lapangan dengan sampling vegetasi mangrove dilakukan dengan menggunakan metode transek garis dan plot sampling. Pengambilan sampel mangrove berupa pohon yang dilakukan pada subplot 10 x 10 m, anakan (*sapling*) diambil dalam sub plot 5 x 5 m, dan semai (*seedling*) diambil dalam sub plot berukuran 1 x 1 m. Menurut English *et. al.*, (1994), untuk kategori pohon memiliki diameter batang ≥ 4 cm, anakan (*sapling*) mempunyai diameter batang $1 \leq \text{DBH} \leq 4$ cm dan tingginya ≥ 1 m dan untuk *seedling* (ketinggian ≤ 1 m). Parameter lingkungan yang dilakukan langsung di lapangan yaitu salinitas, sedangkan untuk pengukuran jenis substrat tanah diujikan di Laboratorium Mekanika Tanah.

Pengambilan sampel

Pengambilan sampel, dilakukan dengan mengambil daun dari pohon mangrove kemudian disimpan di dalam *cool box* berisi es batu yang telah dibungkus dengan plastik hitam agar daun tidak terkena cahaya matahari dan digunakan untuk pengukuran kandungan nilai klorofil-a, serta mengambil sedimen dari pohon yang sama untuk dilakukan pengukuran kandungan nilai bahan organik, nitrat dan fosfat.

Analisa data lapangan

Analisa data lapangan adalah analisa data vegetasi mangrove menggunakan metode English *et. al.*, (1994) yaitu melakukan perhitungan basal area, kerapatan, kerapatan relative, frekuensi, frekuensi relative, dominansi, dominansi relative, indeks nilai penting, indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman. Analisa kandungan klorofil daun mangrove dihitung dengan spektrofotometer UV-Vis mengikuti metode Hendry *et. al.*, (1993). Analisa kandungan nitrat (NO_3) menggunakan metode Brucine (Balai Penelitian Tanah, 2005). Analisa kandungan fosfat (PO_4) menggunakan metode Asam Askorvik (APHA, 1989). Analisa kandungan bahan organik menggunakan metode Gravimetri (Jaya *et. al.*, 1994).

Teknik pengolahan data citra

Teknik pengolahan data citra meliputi dua materi yaitu analisa luas vegetasi mangrove dan analisa klorofil-a algoritma. Analisa luas vegetasi mangrove dengan *software* Er-Mapper 7.0 dilakukan dengan klasifikasi tak terbimbing

(*unsupervised classification*). Analisa klorofil-a algoritma meliputi 3 tahap pengolahan yaitu pra pengolahan, proses pengolahan inti data citra dan proses akhir citra. Pra pengolahan dengan analisa kluster-spektral (Hartoko, 2012), komposit band RGB 231 dan *cropping* citra GeoEye. Pengolahan inti data citra dengan analisa algoritma klorofil-a dengan kalibrasi data lapangan (Hartoko, 2012), penajaman kontras citra (transformasi) dan *overlay*. Proses akhir citra yaitu membuat peta algoritma kandungan nilai klorofil-a menggunakan *software* ER Mapper 7.0.

Evaluasi data lapangan

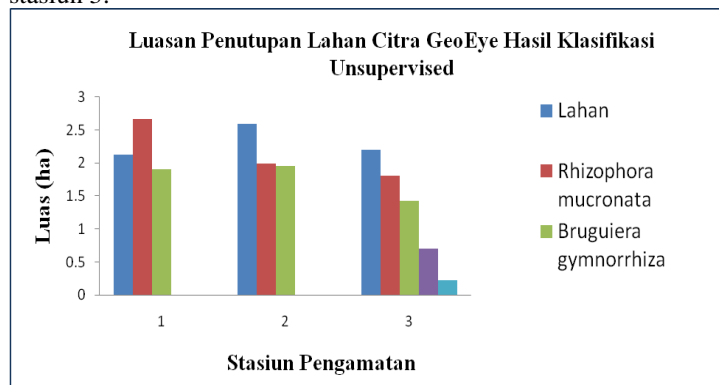
Evaluasi data lapangan adalah analisis uji regresi dan uji korelasi menggunakan program SPSS versi 16.0 dan PAST dengan variabel yang dianalisis adalah kandungan klorofil-a daun, bahan organik, nitrat dan fosfat sedimen untuk tajuk mangrove *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Bruguiera cylindrica*.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapat hasil yakni sebagai berikut:

Luas dan Struktur Komunitas Vegetasi Mangrove

Berdasarkan klasifikasi tidak terbimbing data citra GeoEye tahun 2011 diketahui luas vegetasi mangrove di stasiun pengamatan 1 adalah 6,70 ha dan merupakan luas terbesar diantara stasiun 2 dan stasiun 3 yang masing-masing mempunyai luas sebesar 6,54 ha dan 6,36 ha. Dari ketiga stasiun pengamatan jenis *Rhizophora mucronata* mempunyai luas yang paling besar dibandingkan jenis mangrove lain yang ditemukan di stasiun pengamatan. Luas untuk jenis *Rhizophora mucronata* yaitu sebesar 2,67 ha pada stasiun 1, sebesar 1,99 ha pada stasiun 2 dan sebesar 1,81 pada stasiun 3.



Berikut adalah hasil perhitungan struktur komunitas vegetasi mangrove:

a. pohon

Tabel 1. Hasil Perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) Kategori Pohon

Stasiun	Jenis	K (ind/ha)	KR (%)	F	FR (%)	D (m ² /ha)	DR (%)	INP (%)	H'	e
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	1733,33	81,86	1,00	56,25	17,58	79,47	217,39	0,78	0,56
	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	388,89	18,32	0,78	43,75	4,54	20,53	82,61		
	Total	2122,22	100	1,78	100	22,12	100	300		
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	1655,56	63,95	1,00	50,00	10,04	50,76	164,70		
	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	933,33	36,05	1,00	50,00	9,74	49,24	135,30		
	Total	2588,89	100	2,00	100	19,78	100	300		
3	<i>Rhizophora mucronata</i>	4122,22	75,10	0,89	32,00	15,92	71,84	178,94		
	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	600,00	10,93	1,00	36,00	1,96	8,82	55,75		
	<i>Bruguiera cylindrica</i>	555,56	10,12	0,67	24,00	2,48	11,19	45,31		
	<i>Avicennia marina</i>	211,11	3,85	0,22	8,00	1,81	8,16	20,00		
	Total	5488,89	100	2,78	100	22,16	100	300		

Dilihat dari distribusi dan keragaman jenisnya, lokasi yang memiliki jumlah jenis terbanyak adalah pada stasiun 3 yang terletak di Legon Ipik, sedangkan kedua lokasi yang lain memiliki jumlah jenis yang sama. Hal ini disebabkan pada stasiun 3 mangrove nya cukup tebal dan terlihat kondisi lingkungan nya cenderung berbeda dengan stasiun 1 dan stasiun 2 yang kondisi lingkungannya homogen sehingga mengakibatkan jenis yang tumbuh lebih beragam. Menurut Taqwa (2010), perbedaan komposisi jenis mangrove di tiap kerapatan disebabkan oleh karakteristik dari masing-masing jenis terhadap habitatnya. Jarak setiap kerapatan dari garis pantai berbeda, sehingga dapat mengakibatkan perbedaan salinitas, substrat, frekwensi penggenangan oleh air pasang dan komposisi substrat.

Kerapatan kategori pohon pada stasiun 1 sebesar 2122,22 ind/ha, pada stasiun 2 sebesar 2588,89 ind/ha dan stasiun 3 sebesar 5488,89 ind/ha. Berdasarkan Kriteria Baku Kerusakan Mangrove (SK Men LH No. 21 tahun 2004), kerapatan (pohon/ha) ≥ 1.500 tergolong padat, kerapatan (pohon/ha) $\geq 1.000 - 1.500$ tergolong sedang, kerapatan (pohon/ha) < 1.000 tergolong jarang. Kerapatan pada ketiga stasiun tergolong padat dan dalam kondisi yang baik dengan kerapatan ≥ 1.500 ind/ha.

Hasil perhitungan indeks keanekaragaman (H') dan indeks keseragaman (e) rata-rata pada ketiga stasiun pengamatan sebesar 0,78 dan 0,56. Hal ini menunjukkan bahwa keanekaragaman jenis pada ketiga stasiun penelitian tergolong rendah dan keseragaman spesies sedang. Secara keseluruhan, jenis vegetasi mangrove pada ketiga stasiun penelitian dapat dikatakan sama, hanya beberapa jenis saja yang berbeda, ini dapat dipahami bahwa pada dasarnya ketiga lokasi penelitian tersebut masih merupakan suatu daerah yang berdekatan masih dalam satu pulau dan membentuk vegetasi mangrove yang menyusun ekosistem Pulau Parang. Menurut Odum (1971) dalam Tupan (2002), bahwa nilai keanekaragaman kurang dari 1 tergolong rendah, antara 1 - 3 tergolong sedang dan lebih dari 3 tergolong tinggi. Menurut Krebs (1989) dalam Ariyanto (2011), bahwa nilai keseragaman 0,6 – 1 tergolong tinggi, 0,4 – 0,6 tergolong sedang dan 0 - 0,4 tergolong rendah.

b. anakan

Tabel 2. Hasil Perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) Kategori Anakan

Stasiun	Jenis	K (ind/ha)	KR (%)	F	FR (%)	INP (%)	H'	e
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	866,67	72,22	0,56	66,67	138,89	0,92	0,84
	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	333,33	27,78	0,28	33,33	61,11		
	Total	1200,00	100,00	0,83	100,00	200,00		
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	533,33	54,55	0,39	41,18	95,72		
	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	444,44	45,45	0,56	58,82	104,28		
	Total	977,78	100,00	0,94	100,00	200,00		
3	<i>Rhizophora mucronata</i>	311,11	38,89	0,50	45,00	83,89		
	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	177,78	22,22	0,33	30,00	55,56		
	<i>Bruguiera cylindrica</i>	311,11	38,89	0,28	25,00	63,89		
	Total	800,00	100,00	1,11	100,00	200,00		

Jenis mangrove yang ditemukan pada ketiga stasiun pengamatan tingkat anakan, yakni *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorhiza* dan *Bruguiera cylindrica*, dimana *Bruguiera cylindrica* tidak ditemukan pada stasiun 1 dan stasiun 2 tetapi hanya ditemukan pada stasiun 3. Menurut Noor *et. al.*, (2006), *Bruguiera cylindrica* tumbuh pada mangrove zona tengah yang terletak di belakang mangrove zona terbuka, biasanya pada tanah liat di belakang zona *Avicennia*. Memiliki buah yang ringan dan mengapung sehingga penyebarannya dapat dibantu oleh arus air, tapi pertumbuhannya lambat. Perbungaan terjadi sepanjang tahun.

Kerapatan tingkat anakan rata-rata dari ketiga stasiun pengamatan adalah 992,6 ind/ha. Kerapatan tingkat anakan pada ketiga stasiun tergolong jarang. Jenis mangrove pada tingkat anakan didominasi *Rhizophora mucronata* pada stasiun pengamatan 1 dan 3, sebagaimana terlihat dari besarnya INP sebesar 138,89% dan 83,89%. *Rhizophora mucronata* merupakan salah satu jenis mangrove pada tahap pertumbuhan anakan yang lebih menguasai kawasan mangrove Pulau Parang. Jenis ini merupakan jenis yang paling menguasai lingkungan pesisir khususnya daerah berlumpur. Sedangkan pada stasiun pengamatan 2 didominasi oleh anakan jenis *Bruguiera gymnorhiza* dengan INP sebesar 104,28%. Parameter lingkungan pada stasiun 2 menunjukkan salinitas rendah dibandingkan dengan stasiun 1 dan stasiun 3. Menurut Noor *et. al.*, (2006), bunga dan buah *Bruguiera gymnorhiza* terdapat sepanjang tahun. Jenis ini umumnya ditemukan pada bagian tengah atau bagian dalam dari hutan mangrove dan meluas hingga perbatasan dengan daratan. *Bruguiera gymnorhiza* tumbuh di areal dengan salinitas rendah. Nilai indeks keanekaragaman (H') dan indeks keseragaman (e) rata-rata tingkat anakan pada ketiga stasiun pengamatan sebesar 0,92 dan 0,84. Hal ini menunjukkan bahwa keanekaragaman jenis pada ketiga stasiun penelitian tergolong rendah dan keseragaman spesies tinggi.

c. semai

Tabel 3. Hasil Perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) Kategori Semai

Stasiun	Jenis	K (ind/ha)	KR (%)	F	FR (%)	INP (%)	H'	e
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	38666,67	96,67	0,89	90,91	187,58	0,50	0,36
	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	1333,33	3,33	0,09	9,09	12,42		
	Total	40000,00	100,00	0,98	100,00	200,00		
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	6666,67	34,48	0,42	47,50	81,98		
	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	12666,67	65,52	0,47	52,50	118,02		
	Total	19333,33	100,00	0,89	100,00	200,00		
3	<i>Rhizophora mucronata</i>	48000,00	92,70	0,76	79,07	171,77		
	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	2000,00	3,86	0,11	11,63	15,49		
	<i>Bruguiera cylindrica</i>	1555,56	3,00	0,07	6,98	9,98		
	<i>Avicennia marina</i>	222,22	0,43	0,02	2,33	2,75		
	Total	51777,78	100,00	0,96	100,00	200,00		

Jenis mangrove pada tingkat semai didominasi *Rhizophora mucronata* pada stasiun pengamatan 1 dan stasiun 3, sebagaimana terlihat dari besarnya INP sebesar 187,58% dan 171,77%. Menurut Suryawan (2007), *Rhizophora mucronata* merupakan salah satu jenis mangrove yang tumbuh cepat, pertumbuhan optimal terjadi pada area yang tergenang. Jenis ini merupakan salah satu mangrove yang paling penting dan tersebar luas dengan perbungaan terjadi sepanjang tahun. Pertumbuhan *Rhizophora mucronata* sering mengelompok, karena propagul yang sudah matang akan jatuh dan dapat langsung menancap ke tanah.

Stasiun pengamatan 2 didominasi oleh semai jenis *Bruguiera gymnorrhiza* dengan INP sebesar 118,02%. Hal ini diduga karena mangrove jenis *Bruguiera gymnorrhiza* setiap tahunnya menghasilkan buah dan kondisi lingkungan pada stasiun 2 yang sesuai dengan kehidupan spesies dalam kategori semai. Menurut Noor *et. al.*, (2006), biji atau buah dari *Bruguiera gymnorrhiza* bersifat vivipar yakni biji atau benihnya telah berkecambah dan mengeluarkan akar panjang serupa tombak manakala masih bergantung pada tangkainya. Ketika rontok dan jatuh, buah ini dapat langsung menancap di lumpur tempat jatuhnya.

Kerapatan tingkat semai pada stasiun 1 sebesar 40000 ind/ha, pada stasiun 2 sebesar 19333,33 ind/ha dan stasiun 3 sebesar 51777,78 ind/ha. Kerapatan tingkat semai pada ketiga stasiun tergolong padat dan dalam kondisi yang baik dengan kerapatan ≥ 1.500 ind/ha. Nilai indeks keanekaragaman (H') dan indeks keseragaman (e) rata-rata tingkat semai pada ketiga stasiun pengamatan sebesar 0,50 dan 0,36. Hal ini menunjukkan bahwa keanekaragaman jenis pada ketiga stasiun penelitian tergolong rendah dan keseragaman spesies rendah.

Parameter Lingkungan

Pengukuran parameter lingkungan di lokasi penelitian diperlukan untuk mendukung penelitian yang telah dilakukan. Hasil pengukuran parameter lingkungan ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Parameter Lingkungan

Stasiun	Salinitas (‰)	Jenis Substrat
1	35 – 40	Lumpur berpasir
2	35 – 36	Lumpur berpasir
3	38 – 42	Lumpur berpasir

Nilai Kandungan Klorofil-a, Nitrat dan Fosfat Hasil Pengukuran di Lapangan

Hasil pengukuran kandungan klorofil-a, nitrat dan fosfat per jenis mangrove di masing-masing stasiun pengamatan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 5. Kandungan Klorofil-a Nitrat dan Fosfat *Rhizophora mucronata* Hasil Pengukuran Lapangan

Stasiun	LS	BT	Kisaran Klorofil-a (mg/l)	Kisaran Nitrat (mg/l)	Kisaran Fosfat (mg/100g)
1	5°43'22 - 5°43'54	110°14'38 - 110°14'49	0,12289 - 0,64336	0,37 - 1,21	6,03 – 10,62
2	5°44'44 - 5°44'49	110°14'56 - 110°15'00	0,41778 - 0,77741	0,83 - 1,94	9,04 – 16,93
3	5°44'22 - 5°44'25	110°14'08 - 110°14'11	0,37488 - 0,66778	2,67 - 7,19	10,60 – 20,37

Tabel 6. Kandungan Klorofil-a Nitrat dan Fosfat *Bruguiera gymnorrhiza* Hasil Pengukuran Lapangan

Stasiun	LS	BT	Kisaran Klorofil-a (mg/l)	Kisaran Nitrat (mg/l)	Kisaran Fosfat (mg/100g)
1	5°43'52 - 5°43'55	110°14'38 - 110°14'43	0,22181 - 0,77675	0,47 - 0,95	6,03 – 8,57
2	5°44'44 - 5°44'50	110°14'56 - 110°14'59	0,44559 - 1,05838	0,98 - 1,63	12,34 – 16,22
3	5°44'22 - 5°44'24	110°14'08 - 110°14'12	0,33138 - 0,87970	3,54 - 6,89	13,78 – 23,68

Tabel 7. Kandungan Klorofil-a Nitrat dan Fosfat *Bruguiera cylindrica* Hasil Pengukuran Lapangan

Stasiun	LS	BT	Kisaran Klorofil-a (mg/l)	Kisaran Nitrat (mg/l)	Kisaran Fosfat (mg/100g)
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	5°44'21 - 5°44'24	110°14'09 - 110°14'13	0,54830 - 1,09783	1,53 - 6,84	9,07 – 30,82

a. kandungan nilai klorofil-a

Kandungan nilai klorofil-a diperlukan untuk penginderaan jarak jauh vegetasi mangrove. Menurut Susilo (2000) dalam Wijaya (2005), penginderaan jauh untuk vegetasi mangrove didasarkan atas dua sifat penting yaitu bahwa mangrove mempunyai zat hijau daun (klorofil) dan mangrove tumbuh di pesisir. Dua hal ini akan menjadi pertimbangan penting di dalam mendeteksi mangrove melalui satelit. Sifat optik klorofil sangat khas yaitu bahwa klorofil menyerap spektrum sinar merah dan memantulkan dengan kuat spektrum inframerah. Banyaknya konsentrasi klorofil yang dikandung oleh suatu permukaan vegetasi, khususnya daun menunjukkan tingkat kehijauan vegetasi tersebut. Tingginya kandungan klorofil daun dapat ditunjukkan pada *Bruguiera gymnorrhiza* di stasiun pengamatan 1 dan 2, serta pada *Bruguiera cylindrica* di stasiun pengamatan 3. Diantara berbagai pigmen daun, klorofil-a merupakan senyawa kunci yang bertanggung jawab untuk fotosintesis, fisiologi dan fungsi biologi di tanaman. Klorofil-a dapat mengindikasikan pertumbuhan tanaman (Raven *et. al.*, 1992 dalam Flores-de-Santiago *et. al.*, 2012) atau gangguan dari tekanan (Blackburn, 2007 dalam Flores-de-Santiago *et. al.*, 2012)

b. kandungan nilai nitrat dan fosfat

Keberadaan sedimen di kawasan hutan mangrove memiliki kandungan nutrisi cukup tinggi. Unsur-unsur hara yang berperan penting bagi organisme di kawasan hutan mangrove yaitu nitrat (NO_3) dan fosfat (PO_4), yang juga sebagai nutrisi utama dalam menentukan kestabilan pertumbuhan mangrove. Hasil analisa laboratorium menunjukkan bahwa rata-rata nilai konsentrasi nitrat pada stasiun 1 sebesar 0,71 mg/l. Stasiun pengamatan 2 mempunyai rata-rata nilai konsentrasi nitrat sebesar 1,18 mg/l dan stasiun pengamatan 3 mempunyai rata-rata nilai konsentrasi nitrat sebesar 6,27 mg/l.

Berdasarkan konsentrasi nitrat yang diperoleh maka stasiun pengamatan 1 tergolong dalam klasifikasi kesuburan yang sedang. Stasiun pengamatan 2 dan stasiun 3 memiliki kandungan nitrat yang tergolong dalam klasifikasi kesuburan yang tinggi. Menurut Vollenweider (1968) dalam Wibisana (2004), kandungan nitrat < 0,227 mg/l tergolong kurang subur, 0,227 - 1,129 mg/l tergolong kesuburan sedang dan 1.130 - 11.250 mg/l tergolong kesuburan tinggi.

Hasil analisa laboratorium pada pengukuran fosfat, stasiun pengamatan 1 mempunyai nilai rata-rata konsentrasi fosfat sebesar 7,98 mg/100g. Stasiun pengamatan 2 mempunyai nilai rata-rata konsentrasi fosfat sebesar 13,02 mg/100g dan stasiun pengamatan 3 mempunyai nilai rata-rata konsentrasi fosfat sebesar 17,94 mg/100g. Berdasarkan konsentrasi fosfat yang diperoleh maka ketiga stasiun tergolong dalam kesuburan yang sangat baik. Menurut Yoshimura (1960) dalam Wibisana (2004), kandungan fosfat 0,00 - 0,20 mg/100g tergolong kesuburan rendah, 0,21 - 0,50 mg/100g tergolong kesuburan cukup, 0,51 - 1 mg/100g tergolong kesuburan baik dan nilai fosfat > 1 mg/100g tergolong dalam kesuburan yang sangat baik.

Stasiun pengamatan 1 mempunyai nilai nitrat dan fosfat yang paling rendah dari ketiga stasiun. Rendahnya kandungan nitrat dan fosfat karena stasiun pengamatan 1 mempunyai luas vegetasi mangrove terbesar dibandingkan stasiun lainnya yaitu 6,70 ha namun mempunyai kerapatan vegetasi mangrove paling rendah dari stasiun lainnya yaitu hanya 2122,22 ind/ha. Sehingga nitrat dan fosfat yang terkandung dalam sedimen akan sangat mudah terbawa oleh arus pasang surut. Selain itu sedimennya berupa lumpur berpasir, dimana unsur pasir sedimen stasiun 1 lebih besar dibandingkan dengan unsur pasir stasiun lainnya. Sedimen berupa pasir akan lebih mudah melepaskan kandungan unsur hara di dalamnya dibandingkan dengan substrat yang lain yang lebih rapat porinya. Hal ini sesuai dengan pendapat Hardjowigeno (1992) dalam Madjid (2007), bahwa tanah yang bertekstur pasir mempunyai luas permukaan yang kecil sehingga sulit untuk menahan air dan unsur hara, sedangkan tanah bertekstur liat mempunyai luas permukaan liat mempunyai luas permukaan yang lebih besar sehingga kemampuan menahan air dan menyediakan unsur hara tinggi.

c. kandungan nilai bahan organik

Hasil analisa laboratorium menunjukkan bahwa rata-rata kandungan nilai bahan organik pada stasiun pengamatan 1 sebesar 39,56 %. Stasiun pengamatan 2 mempunyai rata-rata kandungan nilai bahan organik sebesar 58,32% dan stasiun pengamatan 3 mempunyai rata-rata kandungan nilai bahan organik sebesar 89,71%. Berdasarkan kandungan bahan organik yang diperoleh maka ketiga stasiun pengamatan tergolong dalam klasifikasi kandungan bahan organik sedimen yang sangat tinggi. Menurut Reynold (1971) dalam Zulfia *et. al.*, (2009), klasifikasi kandungan bahan organik dalam sedimen < 3.5 % tergolong sangat rendah, 3.5 - 7 % tergolong rendah, 7 - 17 % tergolong sedang, 17 - 35 % tergolong tinggi dan kandungan bahan organik dalam sedimen sebesar > 35 % tergolong sangat tinggi.

Bahan organik tertinggi ditunjukkan pada stasiun pengamatan 3 yakni sebesar 89,71% sedangkan stasiun pengamatan 1 mempunyai kandungan bahan organik terendah (39,56 %) dibandingkan ketiga stasiun lainnya. Dari hasil pengamatan dapat dilihat adanya perbedaan kandungan bahan organik antar stasiun. Hal ini disebabkan adanya perbedaan jumlah tegakan pohon dan kerapatan vegetasi mangrove antar stasiun dimana stasiun pengamatan 3 memiliki jumlah tegakan pohon mangrove tertinggi yaitu sebesar 494 pohon dan kerapatannya sebesar 5488,89 ind/ha, sedangkan stasiun pengamatan 1 memiliki jumlah tegakan pohon mangrove terendah yaitu sebesar 191 pohon kerapatannya sebesar 2122,22 ind/ha. Kecilnya kerapatan dan tegakan mangrove berefek terhadap rendahnya serasah daun yang kemudian jatuh ke perairan dan terendap ke sedimen, dengan demikian bahan organik yang akan dihasilkan juga akan rendah.

Tinggi rendahnya kandungan bahan organik dipengaruhi secara langsung oleh perbedaan volume serasah daun mangrove yang kemudian jatuh ke sedimen dan akhirnya terdekomposisi hingga menjadi bahan organik. Menurut Madjid (2007), sumber primer bahan organik tanah berasal dari jaringan organik tanaman yang dapat berupa daun, ranting dan cabang, batang, buah dan akar. Menurut Coto *et. al.*, (1986) dalam Taqwa (2010), bahan organik hasil dekomposisi serasah hutan mangrove merupakan mata rantai ekologis utama yang menghubungkannya dengan perairan di sekitarnya. Banyaknya bahan organik menjadikan hutan mangrove sebagai tempat sumber makanan dan tempat asuhan berbagai biota seperti ikan, udang dan kepiting. Produksi ikan dan udang di perairan laut sangat bergantung dengan produksi serasah yang dihasilkan oleh hutan mangrove.

Pemodelan Algoritma Kandungan Klorofil-a Berdasarkan Data Lapangan dan Data Citra GeoEye,

Tabel 8. Pemodelan Algoritma Klorofil-a Tajuk *Rhizophora mucronata* Stasiun 1

DN	Pemodelan Algoritma	r	Kisaran Klorofil-a Algoritma Citra Geoeeye (mg/l)
Band 2	$y = 0,000005x^2 + 0,020x - 1,575$	0,811	-
Band 3	$y = -0,000x^2 + 0,012x + 0,190$	0,603	-
Band2/Band3	$y = -0,002x^2 + 0,050x + 0,328$	0,841	0,404 - 0,640

Tabel 19. Pemodelan Algoritma Klorofil-a Tajuk *Bruguiera gymnorrhiza* Stasiun 1

DN	Pemodelan Algoritma	r	Kisaran Klorofil-a Algoritma Citra Geoeye (mg/l)
Band 2	$y = 0,0000005x^2 + 0,030x - 3,057$	0,768	-
Band 3	$y = -0,000x^2 + 0,037x - 0,506$	0,794	-
Band2/Band3	$y = -0,062x^2 + 0,437x - 0,083$	0,864	0,014 – 0,697

Tabel 9. Pemodelan Algoritma Klorofil-a Tajuk *Rhizophora mucronata* Stasiun 2

DN	Pemodelan Algoritma	r	Kisaran Klorofil-a Algoritma Citra Geoeye (mg/l)
Band 2	$y = 0,00000006x^2 - 0,006x + 1,579$	0,800	-
Band 3	$y = 0,000x^2 - 0,016x + 1,044$	0,829	-
Band2/Band3	$y = 0,034x^2 - 0,266x + 0,933$	0,921	0,413 – 2,73

Tabel 10. Pemodelan Algoritma Klorofil-a Tajuk *Bruguiera gymnorrhiza* Stasiun 2

DN	Pemodelan Algoritma	r	Kisaran Klorofil-a Algoritma Citra Geoeye (mg/l)
Band 2	$y = 0,000x^2 - 0,212x + 25,36$	0,710	-
Band 3	$y = 0,000x^2 - 0,037x + 2,194$	0,847	-
Band2/Band3	$y = 0,101x^2 - 0,589x + 1,374$	0,904	0,516 – 2,639

Tabel 11. Pemodelan Algoritma Klorofil-a Tajuk *Rhizophora mucronata* Stasiun 3

DN	Pemodelan Algoritma	r	Kisaran Klorofil-a Algoritma Citra Geoeye (mg/l)
Band 2	$y = 0,00007x^2 - 0,002x + 1,052$	0,625	-
Band 3	$y = 0,000x^2 - 0,016x + 1,023$	0,786	-
Band2/Band3	$y = -0,015x^2 + 0,261x - 0,417$	0,851	0,056 – 0,719

Tabel 12. Pemodelan Algoritma Klorofil-a Tajuk *Bruguiera gymnorrhiza* Stasiun 3

DN	Pemodelan Algoritma	r	Kisaran Klorofil-a Algoritma Citra Geoeye (mg/l)
Band 2	$y = 0,0005x^2 - 0,006x + 0,352$	0,855	-
Band 3	$y = -0,000x^2 + 0,042x - 0,744$	0,864	-
Band2/Band3	$y = -0,055x^2 + 0,492x - 0,531$	0,892	0,002 – 0,569

Tabel 13. Pemodelan Algoritma Klorofil-a Tajuk *Bruguiera cylindrica* Stasiun 3

DN	Pemodelan Algoritma	r	Kisaran Klorofil-a Algoritma Citra Geoeye (mg/l)
Band 2	$y = 0,000x^2 - 0,040x + 3,729$	0,734	-
Band 3	$y = 0,000x^2 - 0,011x + 0,172$	0,822	-
Band2/Band3	$y = 0,071x^2 - 1,045x + 3,876$	0,825	0,009 – 1,835

Persamaan regresi menghasilkan nilai koefisien r berkisar 0,825 – 0,921, yang menunjukkan bahwa hubungan sangat erat antara nilai klorofil-a lapangan dengan nilai *digital number* Band2/Band3. Menurut Bogorad (1962) dalam Riyono (2007), pigmen utama pada tanaman adalah klorofil-a dengan serapan maksimum pada sekitar 0,43 μm dan 0,66 μm . Menurut Lillesand dan Kiefer (1994) dalam Wijaya (2005), band 2 merupakan spektrum hijau dengan panjang gelombang 0,52 – 0,60 μm digunakan untuk mengindera puncak pantulan vegetasi pada spektrum hijau yang terletak diantara 2 saluran spektral serapan klorofil dan untuk lebih mempertegas perbedaan-perbedaan vegetasi serta penilaian tingkat kesuburan. Sedangkan band 3 merupakan spektrum merah dengan panjang gelombang 0,625 – 0,695 μm sebagai saluran terpenting untuk memisahkan vegetasi. Saluran berada dalam salah satu bagian serapan klorofil dan memperkuat kontras kenampakan antara vegetasi dan bukan vegetasi, juga untuk menajamkan kontras antara kelas vegetasi.

Pemodelan algoritma dipengaruhi oleh besaran angka yang ditunjukkan oleh *digital number* setiap band. *Digital number* diperoleh dari nilai pixel titik koordinat pengambilan sampel, sehingga berdasarkan titik pengambilan sampel yang di samakan dengan data citra maka diperoleh nilai klorofil-a algoritma satelit GeoEye yang digunakan sebagai pemodelan algoritma untuk mengetahui hubungan antara klorofil-a lapangan terhadap data klorofil-a algoritma satelit GeoEye.

Persamaan Regresi Kandungan Klorofil-a Lapangan terhadap Data Klorofil-a Algoritma Citra GeoEye

Tabel 14. Pemodelan Algoritma Klorofil-a Lapangan terhadap Data Klorofil-a Citra GeoEye

Stasiun	Jenis	Pemodelan Algoritma	r
1	<i>Rhizophora mucronata</i>	$y = 0,245x^2 + 0,821x + 0,030$	0,842
	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$y = -0,729x^2 + 1,662x - 0,125$	0,867
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	$y = 1,497x^2 - 0,731x + 0,488$	0,968
	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$y = -0,014x^2 + 1,033x - 0,011$	0,904
3	<i>Rhizophora mucronata</i>	$y = 0,309x^2 + 0,667x + 0,085$	0,851
	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$y = 0,282x^2 + 0,834x + 0,002$	0,880
	<i>Bruguiera cylindrica</i>	$y = 0,310x^2 + 0,695x + 0,074$	0,828

Pemodelan ini menggunakan data klorofil-a hasil analisa laboratorium dengan data klorofil-a algoritma citra GeoEye. Persamaan regresi dilakukan dengan polynomial kuadratik antara data klorofil-a lapangan dengan data kandungan klorofil-a algoritma satelit GeoEye yang sebelumnya sudah dilakukan pengolahan citra. Data klorofil-a algoritma citra GeoEye diperoleh dari nilai pixel titik koordinat pada saat pengambilan sampel di lapangan, agar dapat mengetahui bagaimana hubungan persamaan yang didapat dengan menggunakan data citra GeoEye. Persamaan regresi menghasilkan nilai r berkisar 0,828 – 0,968, yang menunjukkan bahwa hubungan sangat erat antara nilai klorofil-a lapangan dengan nilai data klorofil-a algoritma citra GeoEye. Persamaan regresi antara klorofil-a lapangan dengan data klorofil-a algoritma citra GeoEye, dimaksudkan sebagai pemodelan keeratan hubungan antara data klorofil-a pengambilan sampel di lapangan dengan data klorofil-a algoritma citra GeoEye pada tahun 2011 karena data citra yang digunakan dan waktu pengambilan sampel dan tidak sama.

Regresi Berganda Nilai Kandungan Klorofil-a Lapangan dan Nitrat Fosfat Lapangan

Tabel 15. Hasil Regresi Berganda Nilai Kandungan Klorofil-a Lapangan terhadap Nitrat dan Fosfat Lapangan

Stasiun	Jenis Mangrove	Persamaan Regresi Berganda	r	$sig-value$
1	RM	Chlo RM = $1,2738 + 0,18918 N - 0,11944 P$	0,83	0,032
	BG	Chlo BG = $-1,0056 - 0,3526 N + 0,23438 P$	0,93	0,020
2	RM	Chlo RM = $0,97452 - 0,11526 N - 0,024473 P$	0,82	0,037
	BG	Chlo BG = $1,9108 - 0,38252 N - 0,058951 P$	0,82	0,037
3	RM	Chlo RM = $0,77032 - 0,10539 N + 0,016997 P$	0,85	0,038
	BG	Chlo BG = $0,0053338 - 0,1405 N + 0,061839 P$	0,88	0,011
	BC	Chlo BC = $-0,4849 - 0,18062 N + 0,096733 P$	0,95	0,027

Persamaan regresi berganda dari ketiga stasiun menghasilkan kisaran koefisien r sebesar 0,82 - 0,95, dengan nilai koefisien r tinggi mengindikasikan bahwa terdapat keeratan hubungan antara klorofil-a daun dengan nitrat dan fosfat sedimen. Dari persamaan regresi juga dilihat nilai $sig-value$ yang dihasilkan, dimana nilai $sig-value$ pada ketiga stasiun mempunyai kisaran 0,011 - 0,038. Hal ini menunjukkan bahwa hanya terdapat 1,1 – 3,8 % kesalahan pada pemodelan yang dilakukan.

Hubungan klorofil-a daun dengan nitrat dan fosfat sedimen dapat dilihat dari kandungan nitrat dan fosfat yang memberi pengaruh positif dalam proses pembentukan klorofil sehingga meningkatkan fotosintesis dan metabolisme tanaman mangrove. Kandungan klorofil-a merupakan parameter yang menunjukkan pengaruh pada proses metabolisme tumbuhan melalui proses fotosintesis dan dimana daun pada tanaman tingkat tinggi mempunyai fungsi sebagai organ utama fotosintesis.

Menurut Alongi *et. al.*, (1994), penyerapan nitrat oleh tanaman mangrove digunakan pada beberapa proses seperti fotosintesis, respirasi, sintesa protein dan sebagai penyusun gen serta pertumbuhan dari organisme. Air dan mineral diserap oleh akar serabut yang ada pada tanaman mangrove. Menurut Bahri (2006) dalam Hendrawati *et. al.*, (2007), fosfat adalah bentuk fosfor yang dimanfaatkan oleh tumbuhan dan merupakan unsur esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga sehingga dapat mempengaruhi tingkat produktivitas perairan.

Hubungan Nilai Kandungan Nitrat dan Fosfat Lapangan terhadap Bahan Organik Sedimen

Tabel 16. Hasil Regresi Polynomial Nilai Kandungan Nitrat terhadap Bahan Organik Lapangan

Stasiun	Persamaan	r
1	$N = -0,000BO^2 + 0,054BO - 0,603$	0,941
2	$N = -0,000BO^2 + 0,023BO + 0,701$	0,853
3	$N = -0,002BO^2 + 0,607BO - 26,71$	0,846

Tabel 17. Hasil Regresi Polynomial Nilai Kandungan Fosfat terhadap Bahan Organik Lapangan

Stasiun	Persamaan	r
1	$P = 0,001 BO^2 - 0,053 BO + 7,644$	0,924
2	$P = -0,000 BO^2 + 0,113 BO + 8,585$	0,919
3	$P = -0,002 BO^2 + 0,818 BO - 35,79$	0,856

Persamaan regresi nitrat dan fosfat lapangan terhadap bahan organik pada ketiga stasiun menghasilkan nilai koefisien r berkisar 0,853 – 0,941, dengan nilai koefisien r tinggi mengindikasikan bahwa terdapat keeratan hubungan antara bahan organik dengan nitrat dan fosfat sedimen. Hal ini dapat dilihat bahwa mangrove mempunyai sistem perakaran yang khas serta padat sehingga menyebabkan partikel-partikel yang terlarut dalam air mengendap disekeliling akar sehingga membentuk kumpulan lapisan sedimen. Sedimen yang ada disekitar vegetasi mangrove kemudian bercampur dengan serasah yang berguguran. Unsur hara berupa bahan organik akan terdeposit dalam sedimen dan akan terdistribusi oleh faktor lingkungan. Bahan organik yang terdekomposisi dengan bantuan mikroba menjadi sumber nitrat dan fosfat.

Daun mangrove yang jatuh ke sedimen menjadi sumber bahan organik, dan selanjutnya terdekomposisi menjadi unsur hara. Menurut Madjid (2007), proses dekomposisi bahan organik melalui 3 reaksi. Salah satunya adalah reaksi spesifik berupa mineralisasi atau immobilisasi unsur hara esensial berupa hara nitrogen (N), fosfor (P) dan belerang (S). Menurut Setiapermana (2006), ketersediaan nitrogen anorganik tergantung pada pola aktivitas bakteri

yang kompleks di dalam tanah. Tanah mangrove sebagian besar anoksik, terpisah dari zona aerob yang sangat tipis di permukaan. Amonia dihasilkan oleh fiksasi nitrogen atau dekomposisi bahan organik di dalam zona anoksik. Meski sebagian hilang ke atmosfer, amonia dioksidasi oleh bakteri aerob, pertama menjadi nitrit kemudian nitrat. Menurut Soegiman (1982) dalam Lengkong *et. al.*, (2008), dekomposisi bahan organik memperbesar jumlah organisme tanah dan mengakibatkan peningkatan fosfat organik dalam jaringan mikroorganisme serta dapat memperbaiki lingkungan menjadi lebih sesuai untuk pertumbuhan tanaman.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Luas vegetasi mangrove pada lokasi penelitian stasiun 1, 2 dan 3 adalah 6,70 ha, 6,54 ha dan 6,36 ha. Jenis mangrove yang ditemukan adalah *Rhizophora mucronata*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Bruguiera cylindrica* dan *Avicennia marina*. Jenis mangrove yang dominan adalah *Rhizophora mucronata*. Kerapatan vegetasi mangrove tergolong padat. Keanekaragaman jenis tergolong rendah dan keseragaman spesies sedang.
2. Pemodelan algoritma kandungan klorofil-a berdasarkan data lapangan dan data satelit GeoEye bisa menghasilkan persamaan regresi untuk tiap jenis mangrove pada masing-masing stasiun serta terdapat keeratan hubungan antara klorofil-a lapangan dengan klorofil-a algoritma citra GeoEye
3. Terdapat keeratan hubungan antara nitrat, fosfat sedimen dengan klorofil-a daun mangrove serta bahan organik dengan nitrat, fosfat sedimen.

Daftar Pustaka

- Alongi, D.M. , K.G Boto and A. I. Robertson. 1994. Nitrogen and Phosphorous Cycles In A. I. Robertson and D.M. Alongi (eds). Coastal and Estuarine Studies. Tropical Mangrove Ecosystem. American Geophysical Union. USA
- APHA. 1989. Standard Method for Examination of Water and Waste Water 14th Edition. APHA-AWWA-WPFC, Port Press. Washington DC.
- Balai Penelitian Tanah. 2005. Buku Penuntun Analisis Kimia Tanah, Tanaman dan Pupuk. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Agro Inovasi. Bogor.
- Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Provinsi Jawa Tengah. 2011. Identifikasi Potensi dan Pemetaan Pulau-Pulau Kecil di Pulau Parang Karimunjawa. Tunas. Semarang.
- English, S.; C. Wilkinson and V. Baker. 1994. Survey Manual For Tropical Marine Resources. Australian Institute of Marine Science. Townsville.
- Flores-de-Santiago, F.; J. M. Kovacs and F. Flores-Verdugo. 2012. Seasonal Changes in Leaf Chlorophyll-a Content and Morphology in a Sub-tropical Mangrove Forest of the Mexican Pacific. Marine Ecology Progress Series 444: 57-68.
- Hartoko, A. 2012. Modul Praktikum: Aplikasi Inderaja dan SIG Perikanan. Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Diponegoro. Semarang
- Hendrawati, T.; H Prihadi dan N.N Rohmah. 2007. Analisis Kadar Fosfat dan N-Nitrogen (Amonia, Nitrat, Nitrit) pada Tambak Air Payau Akibat Rembesan Lumpur Lapindo di Sidoarjo, Jawa Timur. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta
- Hendry, G.A.F. and Grime, J.P. 1993. Methods on Comparative Plant Ecology, A Laboratory Manual. Chapman and Hill. London
- Jaya, S.; I. B. M. Utaminingsih dan Hermiyaningsih. 1994. Pedoman Analisis Kualitas Air dan Tanah Sedimen Perairan Payau. Direktorat Jenderal Perikanan. Balai Budidaya Air Payau. Jepara.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Jakarta.
- Lengkong, J. E dan R. I. Kawuluan. 2008. Pengelolaan Bahan Organik Untuk Memelihara Kesuburan Tanah. [Jurnal]. Jurusan Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas .Manado

- Madjid, A. 2007. Dasar-dasar Ilmu Tanah: Bahan Ajar Online. Fakultas Pertanian. Universitas Sriwijaya. Palembang. [<http://dasar2ilmutanah.blogspot.com>]
- Nagelkerken, I.; S. J. M. Blaber; S. Bouillon; P. Green; M. Haywood; L. G. Kirton; J. O. Meynecke; J. Pawlik; H. M. Penrose; A. Sasekumar dan P. J. Somerfield. 2008. The Habitat Function of Mangroves For Terrestrial and Marine Fauna: A Review. *Aquatic Botany* 89: 155 – 185
- Noor, Y. R.; M. Khazali dan I. N. N. Suryadiputra. 2006. Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia. PHKA/WI-IP. Bogor.
- Riyono, S. H. 2007. Beberapa Sifat Umum dari Klorofil Fitoplankton. Pusat Penelitian Oseanografi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Jakarta.
- Setiapermana, D. 2006. Siklus Nitrogen di Laut. [Jurnal]. Pusat Penelitian Oseanografi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Jakarta.
- Wijaya, S. W. 2005. Aplikasi Penginderaan Jauh dengan Citra Satelit Quickbird untuk Pemetaan Mangrove di Pulau Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. [Skripsi]. Program Studi Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Suryawan, F. 2007. Keanekaragaman Vegetasi Mangrove Pasca Tsunami di Kawasan Pesisir Pantai Timur Nangroe Aceh Darussalam. Jurusan Biologi. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Taqwa, A. 2010. Analisis Produktifitas Primer Fitoplankton dan Struktur Komunitas Fauna Makrobenthos Berdasarkan Kerapatan Mangrove di Kawasan Konservasi Mangrove dan Bekantan Kota Tarakan, Kalimantan Timur. [Tesis]. Magister Manajemen Sumberdaya Pantai. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Tupan, C.I. 2002. Struktur Komunitas Mangrove dan Interaksinya dengan Beberapa Faktor Lingkungan di Teluk Pelita Jaya, Seram Barat. Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan. Universitas Pattimura. Ambon.
- Wibisana, B.T. 2004. Produksi dan Laju Dekomposisi Serasah Mangrove di Wilayah Pesisir Kabupaten Berau, Propinsi Kalimantan Timur. [Skripsi]. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wijaya, S. W. 2005. Aplikasi Penginderaan Jauh dengan Citra Satelit Quickbird untuk Pemetaan Mangrove di Pulau Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. [Skripsi]. Program Studi Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Zulfia, N dan C. Umar. 2009. Sebaran Spatial Karakteristik Sedimen dan Beberapa Parameter Rawa Pening, Ambarawa. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Jakarta