

JADWAL KEGIATAN SEMINAR NASIONAL KELAUTAN KTI KE-II

HARI/ TGL/JAM	SESI A	SESI B
Kamis, 25 Juni 1998; Koordinator : Budimawan		
	<i>Moderator : Indra Jaya</i>	<i>Moderator : L.F. Wenno</i>
13:30-13:50	Ahmad Munir : Simulasi Penentuan Pola Distribusi Salinitas Air Di daerah Muara Sungai Untuk pengembangan Budidaya Pantai	Indroko S : Keamanan Laut Di Kawasan Timur Indonesia
13:50-14:10	M.N. Jalaluddin : Penyebaran Senyawa Hidrokarbon Pada Sedimen Permukaan Daerah Pelabuhan Kotamadya Ujung Pandang	Anwar Thosibo : Identifikasi Pengetahuan Maritim Pelaut Bugis Makassar
14:10-14:30	Lantu : Perhitungan Perubahan Garis Pantai Berdasar Model Satu Garis (One Line Model)	Mansyur Hasbullah : Analisis Pemanfaatan Propeler CLT Pada Kapal Ikan
	<i>Moderator : L.F. Wenno</i>	<i>Moderator : Ambo Tuwo</i>
14:30-14:50	Ali Hasmi : Komunitas Makro Zoo-benthos Di Perairan Selat Laut Bagian Utara Kab. Kotabaru, Kalimantan Selatan	S. Wouthuyzen : Pengamatan daerah Penangkapan Ikan Cakalang, Katsuwonus Pelamis Di Perairan Maluku Tengah Dengan Menggunakan Data Citra Satelit Nimbus-7 CZCS
14:50-15:10	Ngurah N.W. : Kelimpahan Sista <i>Dinoflagellata</i> Penyebab Red Tide Di Teluk Kao, Maluku Utara	M. Saleh H : Perakitan Teknologi Kapal Cakalang Multi Gear (Huhate, Gillnet dan Long Line) Di Maluku
15:10-15:30	REHAT/PRESENTASI POSTER	
	<i>Moderator : N.N. Wiadnyana</i>	<i>Moderator : Susetiono</i>
15:30-15:50	A.S. Kumanireng : Mengapa Lamun <i>Enhalus Acroides</i> Dapat Hidup Dalam Lingkungan Bernutrien Rendah	Gunarto : Produktivitas Alat Tangkap Tradisional Kepiting Bakau <i>Sero</i> Terhadap Kepiting Bakau, <i>Scylla sp</i> Betina Matang Gonad
15:50-16:10	A.E. Persulesy : Kadar N, P Anorganik Air Poros Interstisial Pada daerah Gundul (Bare Area) Dan Padang Berlamun Teluk Pelita Jaya, Seram Barat	T. Sidabutar : Toksin PSP Dalam Daging Kerang Yang Dibudidaya Di Perairan Teluk Ambon
16:10-16:30	S.A. Yusuf : Fitoplankton Di Perairan Selat Sele, Irian Jaya	A.Ghofar : Identifikasi 'Under Reporting Data' Sumberdaya Laut Di Kawasan Timur Indonesia
	<i>Moderator : Budimawan</i>	<i>Moderator : Ahmad Munir</i>
16:30-16:50	L.F. Wenno : Telaah Oseanografis Teluk Cendrawasih, Irian Jaya	R.T.Tapilatu : Pengelolaan Kawasan Pantai Jamusba-Medi Dalam Rangka Perlindungan Dan Pelestarian Penyu Belimbing (<i>Demochelys Coriacea</i>)
16:50-17:10	Dwi Eny Setyono : Keanekaragaman Jenis Ikan Di Perairan Pulau-Pulau Sermata, Maluku Tenggara	Saleh Papalia : Pengaruh Konstruksi Fitohormon Auksin Dan Pericarp Terhadap Mutu <i>Eucheuma coffonii</i>
17:10-17:30	B. Rochmanto : Perubahan Garis Pantai Di Sekitar Muara Sungai Jeneberang, Ujung Pandang	Usman : Pengaruh Warna Cahaya Lampu Terhadap Sintasan Dan Pertumbuhan Juwana Sotong Buluh, <i>Septoteuthis lessoniana</i> Lesson
Jumat, 26 Juni 1998; Koordinator : Ambo Tuwo		
	<i>Moderator : Hanafi Usman</i>	<i>Moderator : A. Ghofar</i>
08:00-08:20	N.N. Wiadnyana : Pengamatan Kondisi Perairan Dalam Kaitannya Dengan kematian Massal Budidaya Kerang	Indra Jaya : Teori Dan Aplikasi Motode Akustik Berfrekuensi Tinggi Untuk Deteksi Dan Kuantifikasi Partikel/Padatan Tersuspensi

PENDUGAAN DAN PEMETAAN PARAMETER OCEAN COLOR DI TELUK AMBON DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK REMOTE SENSING

oleh :

Sam Wouthuyzen¹⁾ dan Januar S. Batata²⁾

1) Balitbang Sumberdaya Laut, P3O-LIPI, Ambon

2) Fakultas Perikanan, Universitas Pattimura, Ambon

ABSTRAK

Studi pendugaan dan pemetaan parameter ocean color, yaitu konsentrasi total pigmen (klorofil-a + faeofitin-a), total material tersuspensi (seston) dan kecerahan perairan telah dilakukan di Teluk Ambon dari bulan Maret hingga Desember 1997. Model pendugaan parameter ocean color dikembangkan dengan menggunakan data Nilai Digital (ND) yang diukur oleh alat spektrometri (Spectron SE-590) dan foto yang diambil dari kamera sederhana serta data lapangan (sea truth) melalui analisa regresi linier berganda.

Hasil analisa memperlihatkan bahwa ND spektrometri memiliki hubungan yang erat dengan konsentrasi total pigmen dan seston, sedangkan ND foto berkorelasi erat hanya dengan total pigmen. ND baik dari spektrometri maupun dari foto memiliki hubungan yang lemah dengan kecerahan perairan. Hasil analisa plot antara nilai duga total pigmen terhadap nilai sesungguhnya yang dihasilkan dari alat spektrometri menunjukkan adanya gejala saturasi pembacaan pada alat tersebut untuk total pigmen $> 2 \mu\text{g/l}$. Gejala yang sama terlihat pula pada data foto, namun untuk total pigmen yang $> 3 \mu\text{g/l}$, sedangkan model pendugaan seston sedikit memiliki kecenderungan lebih duga (over-estimated).

Karena data spektrometri yang digunakan terdiri atas 4 band, dimana setiap bandnya memiliki panjang gelombang yang disimulasikan sama dengan 4 band pertama pada satelit Landsat-5 TM, dan model pendugaan parameter ocean color ternyata cukup baik, maka model tersebut kemudian diaplikasikan ke 3 buah citra satelit Landsat-5 TM, sehingga peta sebaran spasial dan temporal dari total pigmen dan seston di Teluk Ambon dapat dibuat.

Verifikasi model dengan menggunakan data sebuah citra satelit Landsat-5 TM dan data lapangan yang diambil hampir bersamaan dengan waktu lintasan satelit (near real time) juga dilakukan. Hasil menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi sekitar 73 % untuk menduga total pigmen dengan kisaran $\pm 0.5 \mu\text{g/l}$ dan seston dengan kisaran $\pm 10 \text{ mg/l}$. Tingkat akurasi menurun menjadi sekitar 42 % untuk menduga konsentrasi yang relatif lebih teliti, yaitu $\pm 0.25 \mu\text{g/l}$ untuk total pigmen dan $\pm 5 \text{ mg/l}$ untuk seston.

1. PENDAHULUAN

Ocean color (warna laut) didefinisikan sebagai radians atau energi gelombang elektromagnetik yang keluar dari permukaan air laut pada panjang gelombang tampak (400-700 nm). Energi tersebut dipengaruhi oleh zat-zat terlarut dalam air seperti sel fitoplankton (klorofil-a), materi organik dan inorganik yang tersuspensi (seston) dan lain-lain (Barale, 1986; Holigan dkk., 1989). Pengukuran ocean color dapat digunakan untuk menentukan sifat optik suatu perairan, seperti kecerahan atau turbiditas perairan, kesuburan perairan (kelimpahan fitoplankton), sedimen terlarut, dan sebagainya. Pengukuran, pemantauan dan pemetaan ocean color penting dilakukan karena data yang diperoleh dapat diaplikasikan lebih lanjut untuk mempelajari berbagai bidang seperti biologi laut dan manajemen perikanan (Gower dan Bostard, 1990).

Dalam hal mengukur atau mengumpulkan data ocean color perlu dilakukan survei lapangan. Survei biasanya dilakukan dengan cara-cara yang konvensional yang pada umumnya tidak efisien baik dari segi waktu dan dana, serta data yang diperoleh hanya berupa beberapa titik pengamatan, sedangkan informasi yang diperlukan adalah yang bersifat spasial dan temporal. Untuk itu perlu dicari suatu teknik yang dapat memecahkan persoalan di atas. Cara yang dapat ditempuh adalah melalui teknik Remote Sensing (R/S).

Tujuan studi ini adalah mengaplikasikan teknik R/S untuk :

- Membuat/mengembangkan model pendugaan parameter ocean color dengan menggunakan sebuah alat spektoradiometer dan kamera sederhana.
- Mengaplikasikan model yang dibuat di atas terhadap beberapa citra satelit Landsat-5 TM yang tersedia untuk membuat peta spasial dan temporal parameter ocean color Teluk Ambon.
- Mengkaji apakah foto yang diambil dari kamera sederhana dapat digunakan untuk menduga secara kuantitatif parameter ocean color dan sekaligus memetakannya.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Teluk Ambon dari bulan Maret hingga Desember 1997. Sampling dilakukan setiap 16 hari sekali sesuai dengan jadwal (tanggal dan jam) lintasan Satelit Landsat-5 TM di atas Teluk Ambon. Sampling dilakukan hanya pada saat yang cerah, dan tidak dilakukan jika cuaca mendung atau derajat penutupan awan di atas teluk tinggi.

Data parameter ocean color berupa seston, konsentrasi total pigmen (klorofil-a + faeofitin-a), kecerahan, foto dan Nilai Digital (ND) spektoradiometer (spectron, SE-590) dikumpulkan dari 20 stasiun (10 stasiun berada di Teluk Ambon bagian dalam, 2 stasiun di sekitar ambang Galala-Poka dan 8 stasiun berada di Teluk Ambon bagian luar) dengan menggunakan sebuah speed boat (Gambar 1). Sampling dilakukan 1,5 jam sebelum dan sesudah satelit lewat di atas Teluk Ambon, yakni $\pm 10:00$ waktu lokal. Sampel air laut lapisan permukaan sebanyak 1500 ml diambil dari 20 stasiun penelitian dengan menggunakan botol van Dorn. Di Laboratorium, seston dan total pigmen dari sampel yang terkumpul dianalisa mengikuti prosedur baku seperti yang buat oleh Strickland and Parson (1972). Kecerahan diukur dilapangan dengan menggunakan cakram sechi (sechi disk).

Data spektoradiometer merupakan data yang diperoleh dari alat spektoradiometer "spectron engineering SE-590". Instrumen ini memiliki 256 band yang dapat mengukur spektrum pada

panjang gelombang 400-1100 nm. Disamping itu, alat ini memiliki 4 band tambahan yang disimulasikan sesuai dengan 4 band pertama pada Landsat-5 TM, yaitu band 1 (450-520nm), band 2 (520-600nm), band 3 (630-690nm) dan band 4 (760-900nm). Pada setiap stasiun, data ini dikumpulkan dengan jalan melakukan scanning terhadap permukaan laut secara tegak lurus dengan jarak 50 cm antara sensor dan permukaan laut pada sisi speed boat yang tidak kena langsung cahaya matahari, dan segera dikalibrasi dengan bubuk barium sulfat sebagai warna baku putih ("standard white"). Data yang diperoleh adalah dalam bentuk nilai digital (ND) dari 4 band. Pengukuran dilakukan 3~4 kali, dan nilainya digital untuk setiap bandnya dirata-ratakan. ND rata-rata dari masing-masing band tersebut selanjutnya digunakan untuk membuat model pendugaan dengan jalan mengkorelasikan nilai tersebut terhadap parameter ocean color yang diukur, yaitu seston, total pigmen dan kecerahan.

Pemotretan diambil menggunakan sebuah kamera NIKON AD 35 dan film warna Kodak Gold III dengan kecepatan ASA 100 di titik yang relatif sama dengan pengukuran spektoradiometer. Jarak antara kamera dan objek yang difoto (permukaan air laut) adalah 50 cm. Negatif film kemudian dicuci-cetak di laboratorium kodak. Foto warna lalu discan menggunakan scanner "HP ScanJet 4C". Hasil scanning merupakan citra digital yang terdiri atas 3 band (kanal) yaitu : band merah (R, Red); hijau (G, Green) dan biru (B, Blue) yang masing-masing bandnya memiliki 256 tingkatan nilai digital atau biasa dikenal dengan nama skala keabuan "gray scale". Dengan menggunakan program Aldus Photostyler, kemudian daerah pada foto yang memiliki warna homogen dipilih dan dipotong (cropping) seluas 150 x 150 pixel, selanjutnya citra dipisahkan (split) menjadi 3 band (R, G, B). ND rata-rata dari masing-masing band kemudian diekstraksi dan selanjutnya digunakan untuk membuat model pendugaan dengan jalan mengkorelasikan nilai tersebut terhadap parameter yang diukur, yaitu seston, total pigmen dan kecerahan.

Pendugaan parameter ocean color dibuat dengan menggunakan model regresi linier berganda dengan jalan mengkorelasikan parameter ocean color sebagai variable tidak bebas dan Nilai Digital (ND) spektoradiometer dan ND foto sebagai variable bebas (Draper and Smith, 1981) melalui persamaan sebagai berikut ini :

- 1). Model umum : $Y = \{a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_i x_i\}$
- 2). Model Reciprocal $Y = 1 / \{a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_i x_i\}$, dan
- 3). Model Eksponensial $Y = \text{Exp. } \{a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_i x_i\}$

dimana: Y adalah nilai pendugaan parameter ocean color (seston, total pigmen dan transparansi).

a adalah konstanta (intercept)

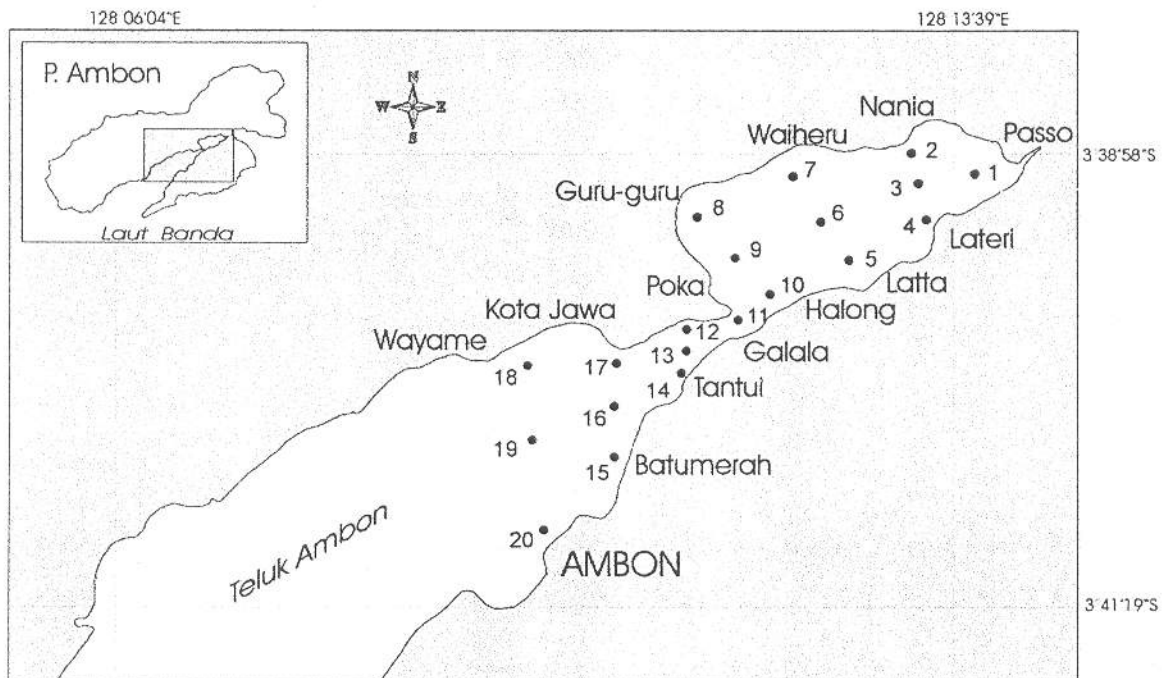
($b_1, b_2, b_3, \dots, b_i$) adalah konstanta (slope)

($x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$) adalah data ND spektoradiometer Band 1, 2, 3 dan 4

atau ND (R,G, B) dari foto.

Model yang memberikan nilai koefisien korelasi (r) terbesar dan nyata secara statistik akan digunakan sebagai penduga parameter.

Untuk membuat peta sebaran parameter ocean color secara spasial dan temporal digunakan citra Satelit Landsat-5 TM tanggal 27 November 1993, path 109 dan row 62 yang dibeli dari Australian Center of Remote Sensing, ACRES, Australia, dan citra tanggal 29 Oktober 1994 serta 25 Mei 1995 dari LAPAN, Jakarta. Karena Data citra satelit pada setiap tanggal yang digunakan memiliki kondisi atmosferik yang tidak sama, maka sebelum dilakukan pemerosesan lebih lanjut perlu dilakukan koreksi atmosferik (Atmospheric Correction). Koreksi atmosferik yang dipakai mengikuti prosedur yang dikenal dengan nama "*Haze Removal*" atau "*Dark Pixel*" (Richard, 1986; Ritchi and Cooper, 1987).



Gambar 1. Peta Teluk Ambon serta stasiun pengukuran dan pengambilan sampel parameter ocean color

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Model Pendugaan dan Peta Spatsial dan Temporal Parameter Ocean Color Teluk Ambon

Selama 8 kali sampling di Teluk Ambon, yaitu dari bulan Maret hingga Desember 1997 terkumpul ± 143 set data parameter ocean color, ND spektorradiometer dan ND foto, yang data statistiknya dirangkum dalam Tabel 1. Hasil analisa regresi berganda antara parameter ocean color, yaitu total pigmen (Tot_pig.) dan Seston dan ND spektorradiometer secara statistik menunjukkan hubungan erat yang dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$\text{Tot_Pig.} = [1 / \{0.978 + (0.009 \cdot \text{ND Band1}) + (0.004 \cdot \text{ND Band2}) + (0.026 \cdot \text{ND Band3}) - (0.071 \cdot \text{ND Band4})\}];$$

$$N = 143; r = 0.82 \quad \dots \quad 1)$$

$$\text{Seston} = \text{EXP} [3.081 + (0.061 \cdot \text{ND Band1}) - (0.049 \cdot \text{ND Band2}) + (0.003 \cdot \text{ND Band3}) - (0.032 \cdot \text{ND Band4})];$$

$$N = 143; r = 0.73 \quad \dots \quad 2)$$

Hasil analisa regresi berganda antara parameter ocean color, yaitu total_pigmen dan ND foto secara statistik menunjukkan hubungan erat yang dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$\text{Tot_Pig.} = [\text{EXP. } \{ 0.804 + (0.002 * \text{ND Merah/R}) + (0.016 * \text{ND Hijau/G}) - (0.021 * \text{ND Biru/B}) \};$$

$$N = 143; r = 0.72 \dots\dots\dots 3).$$

Tabel 1. Rangkuman statistik dari Parameter ocean color, ND spektoradiometer dan ND foto selama 8 kali sampling, Di Teluk Ambon (Maret ~ Desember 1997).

Tanggal Sampling	Statistik	Parameter Ocean Color			Nilai Digital Spektoradiometer				Nilai Digital Foto		
		Seston (mg/l)	Total Pigmen (µg/l)	Transparansi (m)	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Red	Green	Blue
11Mar. 97	Min.	19.60	0.561	5	3	3	1	1	17	133	129
	Max.	29.40	5.981	15	64	61	40	31	143	250	240
	Rata-rata	23.87	1.674	10	21	20	12	9	73	165	168
	Std. dev.	2.56	1.205	2	15	14	10	7	37	31	29
27Mar. 97	Min.	15.00	0.801	0	3	3	1	1	15	120	91
	Max.	25.80	5.233	12	143	133	68	44	161	195	206
	Rata-rata	19.92	1.753	9	45	40	18	14	84	155	167
	Std. dev.	1.91	1.211	3	33	28	15	10	44	22	25
28 Apr. 97	Min.	15.20	0.187	-	3	3	2	2	0	122	110
	Max.	23.00	1.335	-	131	126	126	30	92	182	195
	Rata-rata	20.40	0.696	-	83	33	33	13	29	146	168
	Std. dev.	1.66	0.288	-	34	27	27	6	30	18	25
14 Mei 97	Min.	8.00	1.962	2	7	7	3	3	1	78	48
	Max.	13.27	6.018	10	47	62	37	22	160	184	184
	Rata-rata	9.56	3.288	7	24	29	14	9	69	124	115
	Std. dev.	1.30	1.154	2	12	17	10	6	52	26	32
25 Aug.97	Min.	-	0.047	5	6	6	3	2	18	134	123
	Max.	-	2.430	9	73	65	91	102	143	182	182
	Rata-rata	-	1.565	7	23	22	20	23	68	153	147
	Std. dev.	-	0.429	1	16	15	23	30	34	14	15
03 Sep.97	Min.	15.80	0.934	3	10	10	6	4	0	108	114
	Max.	42.77	2.243	11	38	44	54	50	93	170	162
	Rata-rata	32.07	1.407	8	22	22	13	10	33	149	140
	Std. dev.	5.64	0.412	2	9	8	10	9	29	13	12
08 Des. 97	Min.	22.55	0.392	4	14	14	4	4	0	101	101
	Max.	28.18	1.962	9	32	34	21	17	85	159	159
	Rata-rata	25.51	1.113	6	20	21	10	8	26	123	127
	Std. dev.	1.16	0.417	1	6	7	15	4	29	16	18
24 Des. 97	Min.	23.00	0.523	4	16	13	5	4	0	85	89
	Max.	36.40	2.878	11	64	59	37	28	114	164	170
	Rata-rata	29.90	1.382	6	27	25	14	11	43	134	140
	Std. dev.	3.69	0.638	2	12	11	8	6	37	23	19

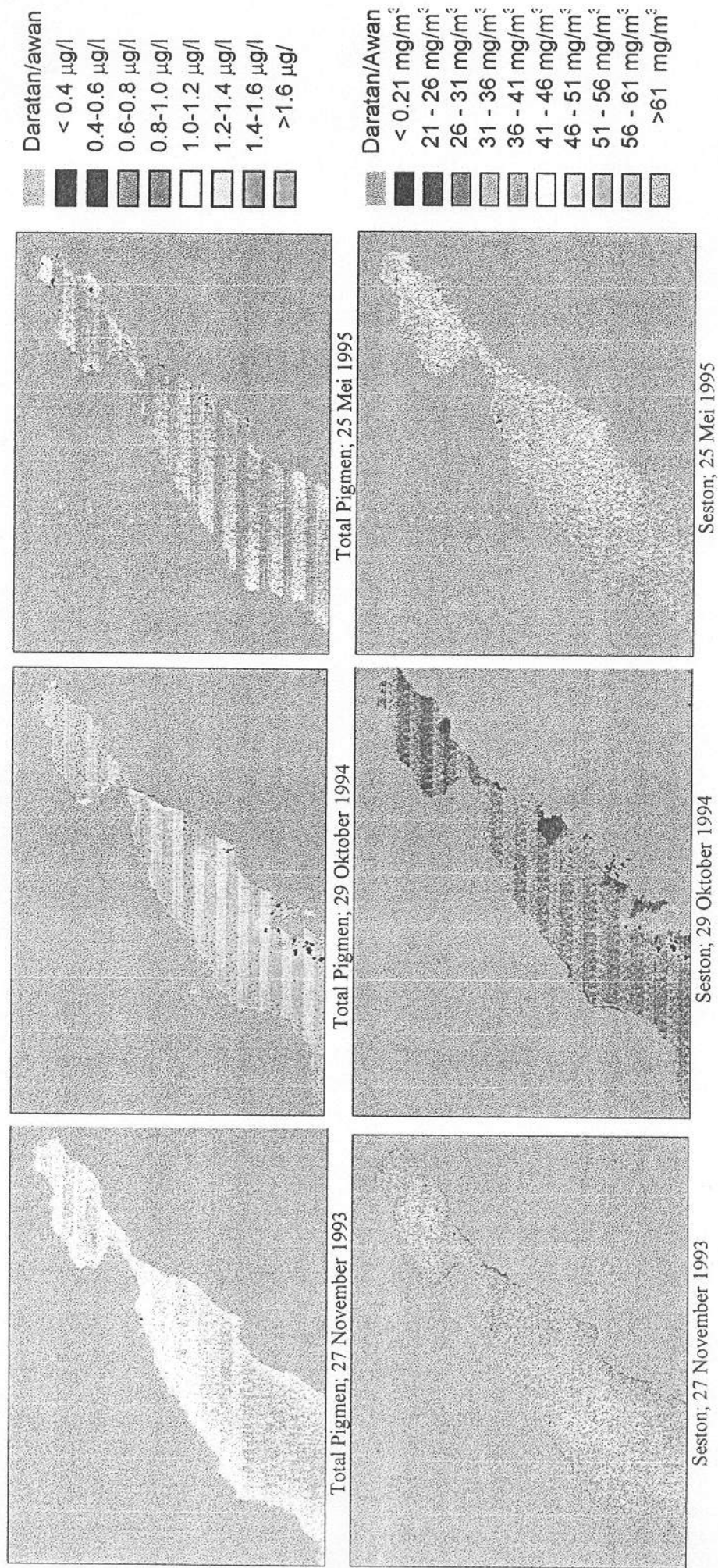
Karena spektoradiometer yang digunakan untuk membuat model pendugaan parameter ocean color memiliki 4 band yang masing-masing bandnya memiliki pula panjang gelombang yang sama persis dengan 4 band pertama Landsat-5 TM (Thematic Mapper), dan ternyata model pendugaan yang dihasilkan cukup baik, maka Model spektoradiometer (persamaan 1 dan 2) dapat diaplikasikan ke citra Landsat-5 TM, sehingga peta total pigmen dan seston baik secara spasial dan temporal dapat dibuat, seperti yang disajikan pada Gambar 2.

Pada Gambar 3 ditampilkan sebuah foto yang diambil dari sebuah menara Telkom di sekitar Tanjung Martafons (penyeberangan feri Galala~Poka) dengan ketinggian 40 meter. Foto ini discan dan dipisahkan menjadi 3 band (Red, Green dan Blue). Total pigmen kemudian dipetakan dengan menggunakan ND dari ketiga band tersebut serta Persamaan 3) yang hasilnya seperti terlihat pada Gambar 4.

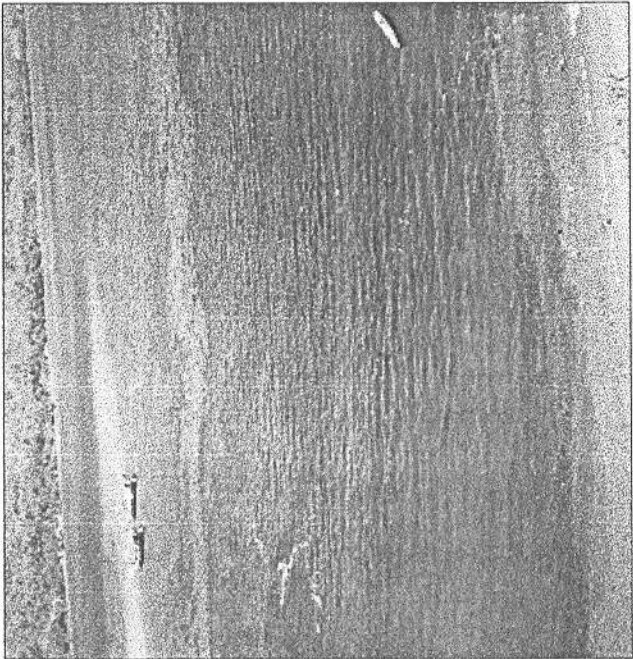
Peta total pigmen (Gambar 2) yang dihasilkan dari Persamaan 1) memperlihatkan bahwa konsentrasi pada bulan November 1993 berkisar antara $0.8\sim1.2\ \mu\text{g/l}$ dengan sebaran yang relatif tinggi dijumpai di Teluk Ambon bagian dalam (TAD) dan di sepanjang pantai Jazirah Leihitu, sedangkan konsentrasi lebih rendah berada pada bagian tengah Teluk Ambon bagian luar (TAL). Pada bulan Oktober 1994 konsentrasinya meningkat dengan kisaran $1.2\sim1.6\ \mu\text{g/l}$ dan dengan sebaran yang merata baik di TAD dan di TAL. Sebaran merata yang sama juga dijumpai pada bulan Mei 1995, namun dengan kisaran konsentrasi yang rendah, yakni $0.8\sim1.0\ \mu\text{g/l}$. Peta Seston (Gambar 2) yang dihasilkan dari Persamaan 2) memperlihatkan bahwa sebaran yang merata dijumpai pada bulan November 1993 dengan kisaran $31\sim46\ \text{mg/l}$ dan pada Oktober 1994, namun dengan kisaran rendah, yakni berkisar antara $21\sim46\ \text{mg/l}$, sedangkan pada bulan Mei 1995 sebaran konsentrasi seston yang relatif tinggi dijumpai di Teluk Ambon bagian dalam (TAD) dan di sekitar kota Ambon dengan kisaran $36\sim56\ \text{mg/l}$.

Peta total pigmen yang dihasilkan dari persamaan 3) (Gambar 4) diambil pada tanggal 5 Maret 1998. Peta ini menunjukkan sebaran yang relatif merata pada bagian tengah perairan dengan konsentrasi yang berkisar antara $0.5\sim1.0\ \mu\text{g/l}$. Pada tepi pantai dan perairan dangkal (Tanjung Tiram) tampak konsentrasi total pigmen yang lebih tinggi dari bagian tengah perairan, namun sesungguhnya hal ini tidak dapat dikatakan sebagai daerah dengan total pigmen tinggi, melainkan disebabkan oleh pengaruh pantulan dasar perairan dangkal, sama seperti tiga buah perahu yang terlihat pada Gambar 3. Oleh karenanya perlu hati-hati dan perlu pengetahuan yang cukup tentang lokasi suatu daerah dalam membaca peta tersebut. Walaupun demikian peta ini memberikan gambaran sebaran total pigmen secara spasial yang cukup baik

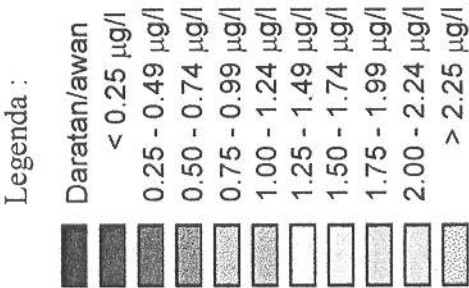
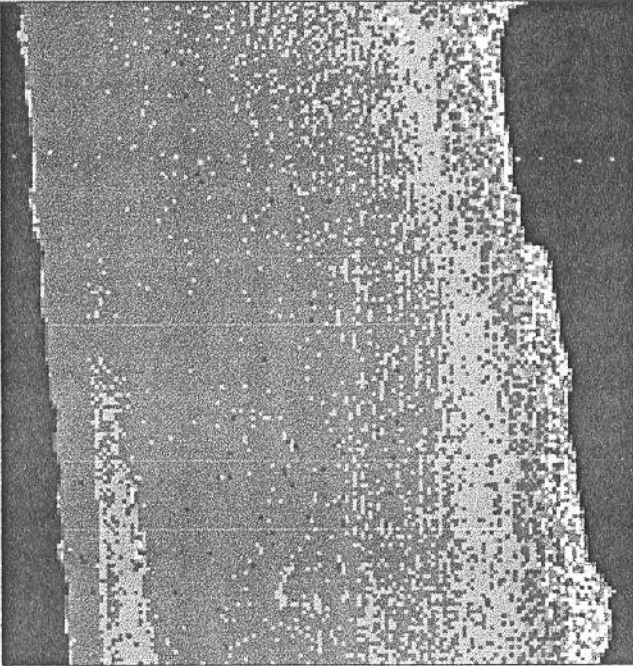
Pada Gambar 5, ditampilkan plot antara nilai sesungguhnya total pigmen terhadap nilai duga yang dihasilkan dari persamaan 1) (Gambar 5 atas), nilai sesungguhnya seston terhadap nilai duga yang dihasilkan dari persamaan 2) (Gambar 5 tengah) dan nilai sesungguhnya total pigmen terhadap nilai duga yang dihasilkan dari persamaan 3) (Gambar 5 bawah). Walaupun model pendugaan parameter ocean color pada persamaan 1 memberikan hasil yang cukup baik secara statistik, namun pada Gambar 5 terlihat bahwa alat spektroradiometer SE-590 yang digunakan dalam studi ini memiliki kecenderungan mencapai titik saturasi (jenuh) pada konsentrasi total pigmen $> 2\ \mu\text{g/l}$. Pada konsentrasi tersebut ($> 2\ \mu\text{g/l}$), nilai pendugaan konsentrasi total pigmen sudah tidak dapat meningkat lagi, melainkan tetap pada kisaran $0.5\sim1.5\ \mu\text{g/l}$. Hal ini menunjukkan bahwa spektroradiometer yang digunakan memiliki akurasi yang lebih tinggi untuk menduga total pigmen pada konsentrasi yang relatif rendah ($\leq 2\ \mu\text{g/l}$). Hal yang serupa ditemukan pula pada pendugaan total pigmen dengan menggunakan ND foto yang memperlihatkan adanya kecenderungan mencapai titik saturasi, namun pada konsentrasi yang lebih tinggi, yakni $> 3\ \mu\text{g/l}$ (Gambar 5 bawah). Pendugaan seston dengan menggunakan ND spektroradiometer menunjukkan ada beberapa nilai yang lebih duga (over-estimated). Adanya kenyataan bahwa pendugaan nilai total pigmen yang lebih rendah (under-estimated), sedangkan untuk seston yang lebih duga, namun model pendugaan tersebut masih layak dipakai karena data hasil pendugaan yang over-estimated atau under-estimated hanya berkisar $< 20\%$, sehingga



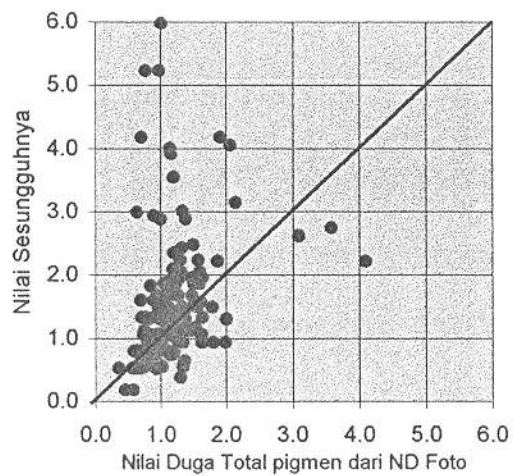
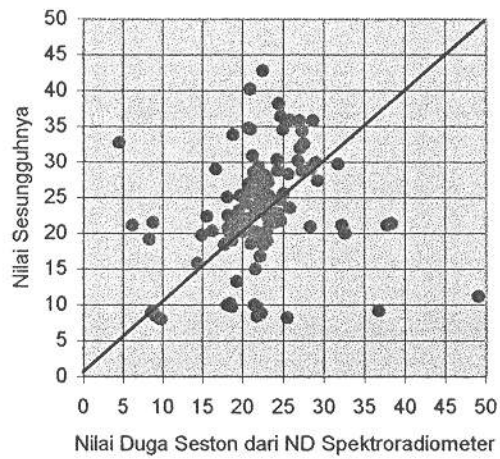
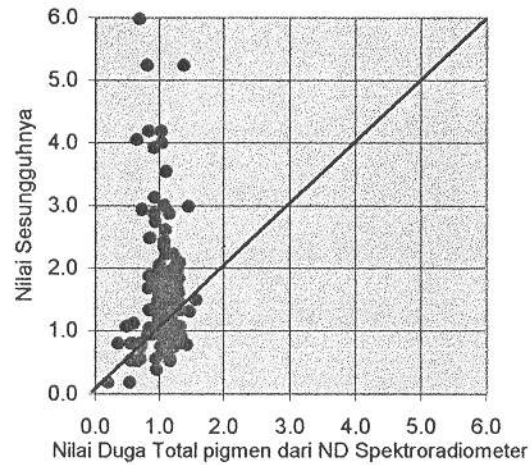
Gambar 2 Peta sebaran spasial dan temporal parameter ocean color, yakni Total Pigmen (atas) dan Seston (bawah) di Teluk Ambon yang dibuat dengan menggunakan citra satelit Landsat-5 TM dan model pendugaan persamaan 1 (total pigmen) dan 2 (seston).



Gambar 3. Foto perairan di sekitar Tanjung Martafons diambil dari ketinggian ± 40 m (5 Maret 1998)



Gambar 4. Peta sebaran total pigmen yang dianalisa dengan menggunakan data ND band merah, hijau dan biru dari Gambar 3 dan Persamaan 3).



Gambar 5. Plot nilai sesungguhnya dan nilai duga total pigmen dan Seston yang diduga dengan menggunakan ND Spektorradiometer (gambar atas dan tengah), serta ND Foto (gambar bawah).

model tersebut, dapat dipakai untuk membuat peta sebaran parameter ocean color secara spasial dan temporal, seperti Gambar 2 dan 4.

Hal menarik yang diperoleh dari penelitian ini ialah, bahwa data digital dari foto yang diambil dari kamera sederhana memiliki kemampuan untuk membuat peta total pigmen yang dapat dilakukan setiap saat, tanpa dipengaruhi oleh penutupan awan seperti pada data citra satelit. Kemampuan kamera untuk menduga dan memetakan parameter ocean color dapat dipertinggi dengan jalan memasang filter merah, hijau dan biru yang memiliki kisaran panjang gelombang yang lebih sempit sesuai dengan sifat optik parameter yang diamati. Misalnya untuk klorofil-a atau total pigmen, filter biru dengan panjang gelombang di sekitar puncak penyerapan klorofil-a (430 nm) dan filter hijau dengan panjang gelombang di sekitar puncak pemantulan klorofil-a (665 nm) dapat dipakai. Pada studi ini, kamera sederhana yang dipakai tidak diketahui spesifikasi kisaran panjang gelombang dan puncak dari masing-masing band (merah, hijau dan biru), sehingga diasumsikan bahwa band merah berkisar antara 600~700 nm, band hijau 500~600 nm dan band biru 400~500 nm.

3.2. Verifikasi Model

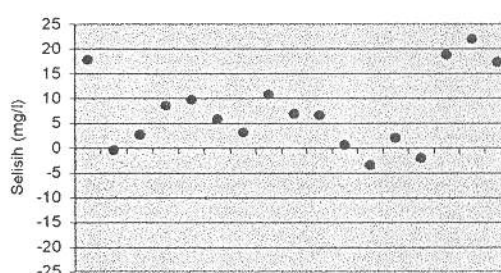
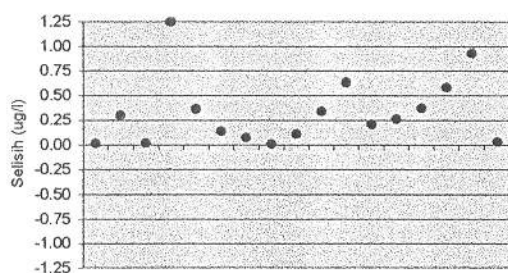
Untuk memverifikasi model pendugaan total pigmen dan seston (Persamaan 1 dan 2) digunakan sebuah citra satelit Landsat-5 TM tanggal 3 September 1997. Pada tanggal tersebut, sampling parameter ocean color dilakukan secara hampir bersamaan (near real time) dengan waktu lintasan satelit di teluk Ambon, yakni $\pm$ Pukul 10:00 waktu lokal (sampling dilakukan $\pm$ 1.5 jam sebelum dan sesudah satelit lewat). Posisi (koordinat; Bujur dan Lintang) 20 stasiun yang diambil melalui sebuah GPS diubah menjadi koordinat citra (No. Kolom dan No. Baris) dengan menggunakan persamaan polinomial orde 1 (Welch *et al.*, 1985). ND citra Band 1~4 berukuran 5 x 5 pixel dengan titik tengahnya adalah posisi stasiun kemudian diekstraksi dan dirata-ratakan. ND rata-rata Band 1~4 dari 20 stasiun tersebut lalu dipakai untuk menduga konsentrasi total pigmen dan seston berdasarkan Persamaan 1 dan 2. Pada Tabel 2 disajikan data ND Band 1~4, nilai pendugaan, nilai sesungguhnya serta selisih antara nilai duga dan nilai sesungguhnya dari total pigmen dan seston di 20 stasiun.

Plot selisih antara nilai duga dan nilai sesungguhnya (Gambar 6) menunjukkan bahwa pada tingkat selisih total pigmen yang teliti ($\pm 0.25 \mu\text{g/l}$), hanya 47 % data yang diduga dengan Persamaan 1) berada dalam kisaran tersebut, sedangkan untuk kisaran yang agak kasar, 76 % data yang diduga masuk dalam kisaran $\pm 0.5 \mu\text{g/l}$. Untuk seston, 41 % data yang diduga dengan Persamaan 2) berada pada kisaran nilai selisih yang teliti ($\pm 5 \text{ mg/l}$), sedangkan untuk kisaran selisih yang lebih kasar, 71 % data yang diduga masuk pada kisaran $\pm 10 \text{ mg/l}$.

Hasil verifikasi model yang dibuat sekali lagi memperlihatkan bahwa model tersebut cukup baik dan dapat dipergunakan untuk membuat peta sebaran parameter ocean color secara spasial dan temporal dengan tingkat akurasi sekitar 70 % untuk selisih antara nilai duga dan nilai sesungguhnya yang agak kasar ($\pm 0.5 \mu\text{g/l}$ untuk total pigmen dan $\pm 10 \text{ mg/l}$ untuk seston), namun tingkat akurasi menurun menjadi sekitar 40 % jika diharapkan selisih antara nilai duga dan nilai sesungguhnya yang relatif teliti ($\pm 0.25 \mu\text{g/l}$ untuk total pigmen, dan $\pm 5 \text{ mg/l}$ untuk seston).

Tabel 2. ND Band 1~4 dari citra Satelit Landsat-5 TM tanggal 3 September 1997, Nilai duga, Nilai sesungguhnya dan selisih antara Nilai duga dan Nilai sesungguhnya Total pigmen dan Seston.

St.	Nilai Digital				Nilai Duga		Nilai Sesungguhnya		Selisih	
	B-1	B-2	B-3	B-4	Tot_pig ($\mu\text{g/l}$)	Seston (mg./l)	Tot_pig ($\mu\text{g/l}$)	Seston (mg./l)	Tot_pig ($\mu\text{g/l}$)	Seston (mg./l)
1	15.76	6.14	11.61	8.49	1.187	33.537	1.177	15.800	0.010	17.737
2	14.12	4.96	10.36	8.20	1.233	32.231	0.934	32.730	0.299	-0.499
3	15.20	5.80	9.16	7.60	1.197	33.585	1.177	31.000	0.020	2.585
4	16.10	6.10	9.69	5.49	0.992	37.476	2.243	29.000	1.251	8.476
5	18.88	7.40	11.60	8.40	1.134	38.225	1.495	28.600	0.361	9.625
6	18.68	6.96	11.12	7.48	1.074	39.662	0.935	33.880	0.139	5.782
7	16.08	5.96	8.96	5.40	1.005	37.708	0.934	34.640	0.071	3.068
8	18.36	7.12	12.08	8.28	1.115	37.731	1.121	26.940	0.006	10.791
9	19.92	7.60	11.64	7.48	1.044	41.549	0.934	34.790	0.110	6.759
10	-	-	-	-	-	-	1.869	28.800	-	-
11	18.48	6.68	13.88	10.48	1.271	36.376	0.935	29.800	0.336	6.576
12	17.39	7.92	12.96	7.73	1.049	34.923	1.682	34.400	0.633	0.523
13	16.40	6.76	11.24	7.52	1.099	34.813	1.308	38.200	0.209	-3.387
14	20.36	8.40	13.16	10.20	1.232	37.820	1.495	35.880	0.263	1.940
15	24.06	14.84	22.64	15.20	1.312	30.504	1.682	32.600	0.370	-2.096
16	23.31	8.65	13.55	9.39	1.103	45.965	1.682	27.200	0.579	18.765
17	22.45	7.41	12.55	6.67	0.942	50.349	1.869	28.370	0.927	21.979
18	-	-	-	-	-	-	2.056	35.790	-	-
19	24.40	7.04	11.40	6.72	0.958	57.434	0.932	40.200	0.026	17.234
20	-	-	-	-	-	-	1.682	42.770	-	-



Gambar 6. Plot selisih antara nilai duga dan nilai sesungguhnya untuk total pigmen (gambar kiri) dan seston (gambar kanan) yang dianalisa dari data citra Landsat-5 TM tanggal 3 September 1997, serta menggunakan Persamaan 1 dan 2

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Studi pendugaan dan pemetaan parameter ocean color telah dilakukan di Teluk Ambon dengan menggunakan data lapangan dari 8 kali sampling, Data Digitan (ND) spektrometri, ND foto yang diambil dari kamera sederhana dan data citra satelit Landsat-5 TM. Beberapa kesimpulan dan rekomendasi yang dapat ditarik dari studi ini antara lain adalah :

- Dari 3 parameter ocean color yang dipelajari, 2 parameter, yakni total pigmen dan seston memiliki hubungan yang erat secara statistik dengan dengan ND spektorradiometer dan ND foto, namun tidak terhadap kecerahan perairan.
- Model pendugaan total pigmen baik dengan menggunakan ND spektorradiometer maupun ND foto memperlihatkan adanya gejala saturasi pada total pigmen $> 2 \mu\text{g/l}$ untuk alat spektorradiometer dan $> 3 \mu\text{g/l}$ untuk foto. Model pendugaan seston memiliki sedikit kecenderungan lebih duga.
- Model yang dikembangkan dengan menggunakan spektorradiometer dapat diaplikasikan ke citra satelit Landsat-5 TM karena ND dari 4 band alat tersebut disimulasikan sama dengan 4 band pertama Landsat dan model yang dikembangkan cukup baik, sehingga beberapa citra satelit Landsat dapat dipakai untuk membuat peta sebaran spasial dan temporal dari total pigmen dan seston di Teluk Ambon
- Peta sebaran spasial dan temporal total pigmen dapat pula dibuat dengan menggunakan data ND dari foto yang diambil menggunakan kamera sederhana. Untuk daerah yang lebih kecil, kamera lebih memiliki keunggulan karena dapat diambil setiap saat, tanpa dibatasi adanya penutupan awan seperti pada data citra.
- Kemampuan kamera dapat lebih dipertinggi dengan menggunakan filter yang memiliki kisaran panjang gelombang lebih sempit, sesuai dengan sifat optik parameter yang diamati.
- Akurasi model berkisar 71 % untuk menduga konsentrasi total pigmen dengan kisaran $\pm 0.5 \mu\text{g/l}$ dan seston dengan kisaran $\pm 10 \text{ mg/l}$. Akurasi menurun menjadi sekitar 40 % untuk menduga total pigmen dengan kisaran yang relatif teliti ($\pm 0.25 \mu\text{g/l}$ untuk total pigmen dan $\pm 5 \text{ mg/l}$ untuk seston).

5. DAFTAR PUSTAKA

- Barale, V., 1986. Space and time variability of the surface ocean color field in the northern Adriatic Sea. *J. of Geophysical Res.* Vol. 91, No. C11:12957-12974.
- Draper, N.R. and Smith, H., 1981. *Applied regression analysis*, Second Edition, John Wiley & sons, 709 pp.
- Gower, J.F.R and Bostard, G.A., 1990. Mapping phytoplankton by solar-stimulated fluorescence using imaging spectrometer. *Int. J. Remote Sensing*, Vol.11 (2) : 313-320.
- Holigan, P.M., Aarup, T. and Groom S.B., 1989. The northsea satelit atlas. *Continental shelf Research*, Vol 9 (No. 8) : 665-754.
- Richards, J.A., 1986. *Remote Sensing Digital Analysis*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 281 pp.
- Ritchie, J.C. and Cooper, C.M., 1988. Comparison of measured suspended sediment concentration with suspended concentration estimated from Landsat MSS data. *Int. J. Remote Sensing*. Vol. 9 (3) : 379-387.
- Strickland, J.D.H. and Parson, T.R., 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Board of Canada, no. 167, 309 pp.
- Welch, T.R., Jordan, J.R. and Ehlers, M., 1985. Comparative evaluations of geodetic accuracy and cartographic potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper image data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 51 (9) : 1249-1262.