

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>SUMMARY</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>PENGANTAR PARIPURNA</b> .....	1
<b>BAB I : STATUS EUTROFIKASI DI PERAIRAN TELUK JAKARTA</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>PENDAHULUAN</b> .....	13
<b>BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	17
Lokasi penelitian .....	17
Pengukuran dan cuplikan data lapangan .....	18
Akuisisi dan analisa data Citra Satelit LANDSAT .	19
Pendugaan status trofik perairan estuarin .....	23
<b>HASIL</b> .....	26
Tingkat Kecerahan ( <i>Transparency</i> ) .....	27
Kandungan Klorofil-a ( <i>Chlorophyll-a</i> ) .....	28
Pengembangan model pendugaan kecerahan perairan berdasarkan Citra Landsat .....	29
Analisis <i>Tropical Marine Index</i> (TRIX) .....	32
Analisis proses eutrofikasi menggunakan model ASSETS .....	33
<b>PEMBAHASAN</b> .....	37
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	43
Kesimpulan .....	43
Saran .....	43

<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>44</b>
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>44</b>
<b>BAB II : MARAK ALGA DI PERAIRAN TELUK JAKARTA .....</b>	<b>70</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>70</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>70</b>
<b>BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>76</b>
Lokasi dan Waktu Penelitian .....	76
Pengukuran dan Sampling Data Lapangan .....	77
Akuisisi dan Analisa Data Citra Satelit MODIS ...	77
Analisis Kejadian Marak Alga .....	80
<b>HASIL .....</b>	<b>80</b>
Konsentrasi Klorofil-a Data Lapangan .....	81
Pengembangan Model Pendugaan Konsentrasi Klorofil-a Menggunakan Sensor MODIS .....	83
Kejadian Marak Alge Berdasarkan Peta Sebaran Konsentrasi Klorofil-a dan Kelimpahan Fitoplankton .....	85
<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>95</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>98</b>
Kesimpulan .....	98
Saran .....	98
<b>UCAPAN TERIMAKASIH .....</b>	<b>99</b>
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>99</b>
<b>BAB III : KAJIAN SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS PERAIRAN DENGAN PARAMETER CDOM DI PERAIRAN TELUK JAKARTA .....</b>	<b>113</b>



<b>ABSTRACT</b> .....	113
<b>PENDAHULUAN</b> .....	114
<b>BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	116
Lokasi dan Waktu Penelitian .....	116
Pengukuran dan Sampling Data Kualitas Perairan .....	116
Analisis Data Citra Satelit .....	117
<b>HASIL</b> .....	120
Variasi <i>In Situ</i> CDOM dan Salinitas Permukaan .....	120
Pendugaan CDOM <sub>g440</sub> Dari Penginderaan Jarak Jauh MODIS .....	123
Hubungan Antara CDOM <sub>g440</sub> dan Salinitas Permukaan Laut .....	124
Implementasi Citra Warna Laut Dengan Satelit MODIS ..	127
<b>PEMBAHASAN</b> .....	132
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	136
Kesimpulan .....	136
Saran .....	136
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	137
<b>DAFTAR ACUAN</b> .....	137
<b>DISKUSI PARIPURNA</b> .....	148
<b>DAFTAR ACUAN</b> .....	158

## DAFTAR TABEL

### BAB I.

Tabel 1.1.	Sumber dan Alur Utama Zat Hara .....	14
Tabel 1.2.	Kisaran Panjang Gelombang Landsat ETM+ .....	20
Tabel 1.3.	Nilai kecerahan dan TSI perairan perairan Teluk Jakarta Jakarta pada dekade 1970an hingga 2000an yang diperoleh dari hasil analisa data multi-temporal dan dan multi-sensor citra Landsat .....	31

### BAB II.

Tabel 2.1.	Ciri utama sensor MODIS untuk daratan dan perairan laut yang tampak dan spektrum wilayah infra merah dekat (near-infrared/NIR (Gao et al., 2007) .....	77
Tabel 2.2.	Koefisien untuk mengkonversi ND menjadi NR ( $W.m-2.\mu m-1.sr-1$ ) pada band gelombang tampak citra satelit Terra dan Aqua MODIS .....	79
Tabel 2.3.	Ringkasan statistik konsentrasi klorofil-a ( $mg/m^3$ ) di perairan Teluk Jakarta berdasarkan musim .....	81
Tabel 2.4.	Data yang digunakan untuk membuat model empiris pendugaan konsentrasi klorofil-a perairan Teluk Jakarta ...	82
Tabel 2.5.	Kategori kejadian marak alge berdasarkan konsentrasi klorofil-a di perairan Teluk Jakarta .....	91
Tabel 2.6.	Katagori kelimpahan jenis fitoplankton .....	92

### BAB III

Tabel 3.1.	Ciri utama sensor MODIS untuk daratan dan perairan laut yang tampak danspektrum wilayah infra mera dekat (near-infrared/NIR (Gao et al., 2007) .....	116
Tabel 3.2.	Koefisien untuk mengkonversi ND menjadi NR ( $W.m-2.\mu m-1.sr-1$ ) pada band gelombang tampak citra satelit Terra-dan Aqua MODIS .....	117
Tabel 3.3.	Koefisien penyerapan CDOM pada 440 nm, salinitas permukaan, konsentrasi chlorophyll-a, konsentrasi Bahan Tersuspensi Total (TSS) dan curah hujan rata-rata1 minggu sebelum tanggal pengukuran (pengukuran CTD hanya dibuat pada perahu A saja) .....	120

## DAFTAR TABEL

### BAB I.

Tabel 1.1.	Sumber dan Alur Utama Zat Hara .....	14
Tabel 1.2.	Kisaran Panjang Gelombang Landsat ETM+ .....	20
Tabel 1.3.	Nilai kecerahan dan TSI perairan perairan Teluk Jakarta Jakarta pada dekade 1970an hingga 2000an yang diperoleh dari hasil analisa data multi-temporal dan dan multi-sensor citra Landsat .....	31

### BAB II.

Tabel 2.1.	Ciri utama sensor MODIS untuk daratan dan perairan laut yang tampak dan spektrum wilayah infra merah dekat (near-infrared/NIR (Gao et al., 2007) .....	77
Tabel 2.2.	Koefisien untuk mengkonversi ND menjadi NR ( $W.m-2.\mu m-1.sr-1$ ) pada band gelombang tampak citra satelit Terra dan Aqua MODIS .....	79
Tabel 2.3.	Ringkasan statistik konsentrasi klorofil-a ( $mg/m^3$ ) di perairan Teluk Jakarta berdasarkan musim .....	81
Tabel 2.4.	Data yang digunakan untuk membuat model empiris pendugaan konsentrasi klorofil-a perairan Teluk Jakarta ...	82
Tabel 2.5.	Kategori kejadian marak alge berdasarkan konsentrasi klorofil-a di perairan Teluk Jakarta .....	91
Tabel 2.6.	Katagori kelimpahan jenis fitoplankton .....	92

### BAB III

Tabel 3.1.	Ciri utama sensor MODIS untuk daratan dan perairan laut yang tampak danspektrum wilayah infra mera dekat (near-infrared/NIR (Gao et al., 2007) .....	116
Tabel 3.2.	Koefisien untuk mengkonversi ND menjadi NR ( $W.m-2.\mu m-1.sr-1$ ) pada band gelombang tampak citra satelit Terra-dan Aqua MODIS .....	117
Tabel 3.3.	Koefisien penyerapan CDOM pada 440 nm, salinitas permukaan, konsentrasi chlorophyll-a, konsentrasi Bahan Tersuspensi Total (TSS) dan curah hujan rata-rata1 minggu sebelum tanggal pengukuran (pengukuran CTD hanya dibuat pada perahu A saja) .....	120

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan ke Hadirat ALLAH SWT., yang telah memberikan karunia dan rahmaNYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi yang berjudul: **KAJIAN SPASIAL DAN TEMPORAL KUALITAS PERAIRAN TELUK JAKARTA.**

Disertasi ini dibagi dalam tiga topik makalah, yaitu: 1) Eutrofikasi di Perairan Teluk Jakarta; 2) Marak Alga di Perairan Teluk Jakarta Jakarta dan 3) Kajian Sistem Pemantauan Kualitas Perairan Dengan Parameter CDOM di Perairan Teluk Jakarta. Hasil penelitian ini memperoleh beberapa model empiris yang dapat digunakan untuk pendugaan kecerahan perairan, distribusi konsentrasi klorofil-a dan CDOM dengan memanfaatkan data multi-temporal/sensor citra satelit Landsat dan MODIS sehingga dapat digunakan sebagai rujukan keilmuan tentang kondisi perairan Teluk Jakarta. Pada akhirnya penelitian ini diharapkan dapat digunakan dalam pengelolaan pembangunan daerah secara berkelanjutan.

Pada kesempatan yang berbahagia ini kami mengucapkan terimakasih yang tulus kepada Bapak-Ibu dan berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan sehingga terwujud penulisan Disertasi kami, yaitu :

Jatna Supriatna, Ph.D (Promotor), Prof. Dr. Ir. Ono Kurnaen Sumadhiharga, MSc., (Ko-Promotor); Dr. Ir. Sam Wouthuyzen, MSc., (Ko-Promotor); Dr. rer.nat. Mufti Petala Patria, MSc. (Penguji), Dr. Ir. Zainal Arifin, MSc. (Penguji) dan Dr. rer.nat. Yasman, MSc. (Penguji).

Dr. Adi Basukriadi, M.Sc, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Dr. Luthfirda Sjahfirdi, M.Biomed, dan Dr. Nisyawati, MS selaku Ketua dan Sekretaris Program Studi Pascasarjana Biologi FMIPA-UI, dan Evi Sulardi.

Dr. Idwan Suhardi, selaku Deputy Pendayagunaan IPTEK dan Ir. Kemal Prihatman, M.Eng, selaku Asisten Deputy IPTEK Industri Strategis, Kementerian Riset dan Teknologi (KRT) memberikan rekomendasi dan izin selama menyelesaikan studi ini.

Rekan-rekan di KeAsdepan PJI/PPTI/IPTEK Industri Strategis, Kementerian Riset dan Teknologi (Ir. Utari Budihardjo, MSi (Almh), Prof. Dr. Fredy Permana Zen, MSc.DSc, Prof.Dr. Engkos Koswara, MSc., APU.,

rekan-rekan peneliti dan teknisi Balai Konservasi Sumberdaya Laut (BKSDL, Ambon-P2O), yang terus mendorong untuk menyelesaikan tugas belajar ini. Ir. Tumpak Sidabutar, MSc., Drs. Salam Tarigan, MS., Izaak Nikijuluw, Johannes Lakalete, Salim Picalohata, dan Abdulah Salatalohy yang telah membantu dalam pengambilan data di lapangan. Drs. Tb. Adli Hakim yang telah membantu sepenuhnya dalam penulisan naskah disertasi.

Ayahanda R.M. Tamtanus S. Tjokrowerdayo (Alm), Ibunda R.A. Sri Moehardini (Almh), Ayahanda mertua Mochtar Mahmudin & Ibunda mertua Dini Vidayantie, Ayahanda & Ibunda KRMT Usadarto Utoyo, KRAT Tamrini (Alm & Almh), Pamanda dr. R.M. Tamadji T., Drs. R.M. Tamdaru T., keluarga adinda Hari Susatio, SE dan Ir. Tulus Sudarsono, MSc., yang selalu mendukung dalam doa dan memberi memotivasi kepada penulis.

Kepada istri tercinta RD. Nina Purnamasari, SH., anak-anak Ratna, Rani dan Rischa dengan penuh pengertian dan kesabaran dalam mendukung dan memotivasi penulis selama menyelesaikan studi.

Kepada Bapak/Ibu/Sdr/i yang turut mendukung penulis dalam menyelesaikan studi ini, semoga ALLAH SWT, membalas budi baik Bpk/Ibu/Sdr/i. sekalian.

Depok, 27 April 2011

Agus Sediadi

## DAFTAR GAMBAR

### BAB I.

Gambar 1.1.	Lokasi Penelitian Di Teluk Jakarta .....	17
Gambar 1.2.	Sampling Selama Penelitian Di Perairan Teluk Jakarta.....	18
Gambar 1.3.	Grafik Koreksi Atmosferik Sederhana Data Multi-Temporal Citra Satelit .....	19
Gambar 1.4.	Tata Alur (Flow Chart) Model ASSETS (Brickers, 2003)....	23
Gambar 1.5.	Nilai Tingkat Kecerahan Perairan Teluk Jakarta Hasil Pengukuran Bulan Mei & November 2008 .....	26
Gambar 1.6.	Grafik Perbandingan Tingkat Kecerahan Pada Tahun 1970an sampai Tahun 2000an .....	27
Gambar 1.7.	Grafik Perbandingan kandungan klorofil-a pada Tahun 1970an sampai Tahun 2000an di perairan Teluk Jakarta.....	28
Gambar 1.8.	Algoritma Empiris Untuk Menduga Kecerahan Perairan Teluk Jakarta dari Berbagai Citra Satelit Landsat 7 ETM+ Tahun 2004 .....	30
Gambar 1.9.	Grafik hasil pengukuran TRIX periode 1970an sampai tahun 2000an. ....	32
Gambar 1.10.	Peta Kecerahan perairan Teluk Jakarta hasil analisa multi temporal dan multi sensor Citra Satelit Landsat 1-3, MSS, Landsat 4,5, TM dan Landsat 7 ETM dari periode 1972 hingga 2007 dengan menggunakan algoritma empiris pada Gambar 1.9. ....	33
Gambar 1.11.	Peta TSI di Perairan Teluk Jakarta Tahun 1970an sampai Tahun 2000an .....	34
Gambar 1.12.	Peta nilai rerata tingkat kecerahan dan nilai rerata TSI serta kondisi tropik perairan Teluk Jakarta selama dekade 1970an sampai 2000an .....	35
Gambar 1.13.	Hasil akhir model ASSET .....	36
Gambar 1.14.	Analisis residu model empiris pendugaan kecerahan Perairan Teluk Jakarta.....	37

**BAB II.**

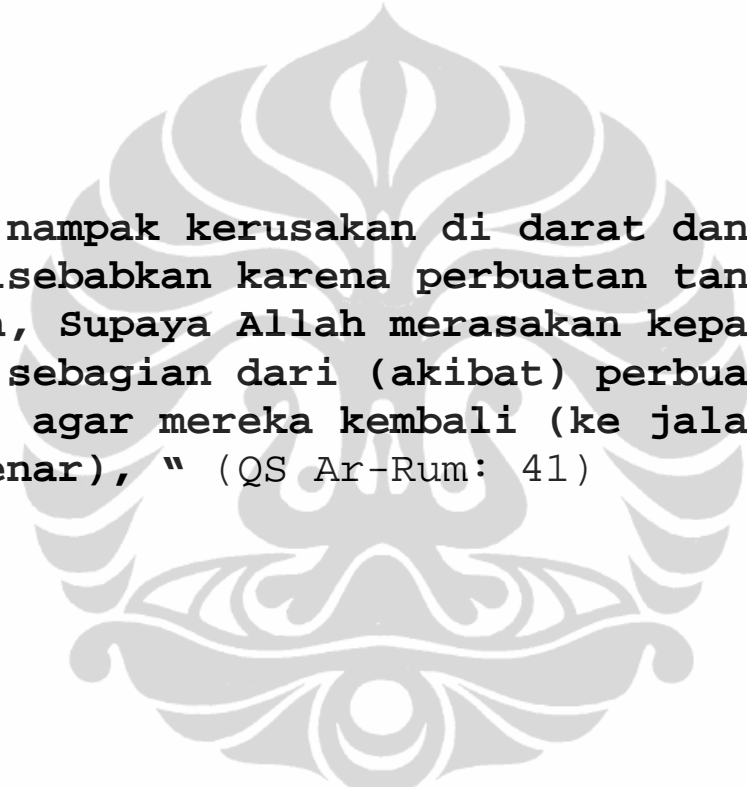
Gambar 2.1.	Jenis-Jenis Mikro Alga Yang Dapat Membahayakan Kesehatan/Jiwa Manusia ( <i>Toxic Microalgae</i> ) dan Dapat Menyebabkan Kematian Masal Ikan (kanan; WESTPAC/IOC/UNESCO, 2000). .....	72
Gambar 2.2.	Diagram Gambaran Umum Marak Alga Terhadap Masyarakat .....	74
Gambar 2.3.	Konsentrasi klorofil-a berdasarkan musim pada tahun 2004-Tahun 2007 .....	80
Gambar 2.4.	Model Prediksi Klorofil-a Berdasarkan Satelit Terra dan Aqua MODIS .....	83
Gambar 2.5.	Kejadian Marak Alga di perairan Teluk Jakarta.....	84
Gambar 2.6a.	Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 18 April, 28 April dan 11 Mei 2004. ....	84
Gambar 2.6b.	Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 12, 28 November 2004 dan 6 Desember 2004. ....	85
Gambar 2.6c,d.	Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 21,28 September 2004 dan 7 Oktober 2004. ....	85
Gambar 2.7a,b.	Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 10, 12,17 April 2005, dan 6, 8, 24 4 Juni 2005. ....	86
Gambar 2.7c,d.	Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 18 Mei, 3 September dan 1 Oktober 2005; 14 Oktober 2005; 14, 15 dan 18 November 2005. ....	87
Gambar 2.8	Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 13 Mei 2006; 14, 18, 22, 25, 30 Juni 2006. ....	88
Gambar 2.9	Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 29 Juli 2006 sampai 20 November 2006. ....	88

Gambar 2.10. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 10, 12, dan 17 April 2005. ....	89
Gambar 2.11. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga pada tanggal 29, 30 Mei 2008 dan 4 Juni 2008. ....	89
Gambar 2.12. Kelimpahan fitoplankton jenis <i>Skeletonema costatum</i> di perairan Teluk Jakarta. ....	91

### BAB III

Gambar 3.1. Plotting CDOM <sub>g440</sub> dengan Cahaya Biru, Hijau dan Merah dari MODIS, Band Hijau dan Merah MODIS, (kiri atas), rasio cahaya Band Biru ke Band Hijau, Band Biru ke Band Merah dan Band Hijau dan Band Merah (kanan atas), cahaya Band Biru, Band Hijau dan Band Merah Kromatisiti (kiri bawah), dan model akhir. ....	122
Gambar 3.2. Hubungan CDOM <sub>g440</sub> dengan Kandungan Salinitas Permukaan di Teluk Jakarta .....	124
Gambar 3.3.1. Peta CDOM dan Salinitas Permukaan Yang Dihasilkan Persamaan 3 & 5 pada Bulan Januari-April 2004 .....	127
Gambar 3.3.2. Peta CDOM dan Salinitas Permukaan Yang Dihasilkan Persamaan 3 & 5 pada Bulan Mei sampai Juli 2004. ....	128
Gambar 3.3.3. Peta CDOM dan Salinitas Permukaan Yang Dihasilkan Persamaan 3&5 pada Bulan Agustus sampai Oktober 2004..	129





**"Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, Supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar), " (QS Ar-Rum: 41)**

**Name** : Agus Sediadi (0606037424) **Date:** April 27, 2011.  
**Title** : SPATIAL AND TEMPORAL STUDY ON WATERS  
QUALITY OF THE JAKARTA BAY  
**Promoter** : Jatna Supriatna, Ph.D.  
**Co-Promoters** : Prof. Dr. Ir. Ono Kurnaen Sumadhiharga, M.Sc.  
Dr. Ir. Sam Wouthuyzen, M.Sc.

---

### SUMMARY

This research is Long Term Assessment and Short Term Assessment to know the waters quality of Jakarta Bay, based on the eutrophication status in the past, present, and its tendency in the future, that is related to the algal bloom occurrence and massive fish kill, and the development of early warning system effectively and efficiently and that is related to Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) parameter by using remote sensing techniques through the application of multi-temporal and multi-sensor satellites data.

The main object of this research are : (1) to analyze data of Jakarta Bay water quality based on transparency and chlorophyll-a concentration parameters by using remote sensing technique; (2) to assess the eutrophication status of Jakarta Bay in the past, present, and future based on ASSETS model (Assessment of Estuarine Trophic Status), so that problems that is brought in the eutrophication process can be understood and overcome as soon as possible; (3) to study the algal bloom occurrence effectively and efficiently by utilizing satellite imagery data through stages, mapping, monitoring, and evaluating the chlorophyll-a concentration as a bio-indicator of algal occurrence; (4) to design an early warning system that can be applied to stake holder society or Jakarta Bay users; (5) to observe whether Jakarta Bay is influenced by CDOM originated from the land component or sea component.

For the reason, this study is divided into three papers, namely: 1) Eutrophication in Jakarta Bay; 2) Algal blooms in the Jakarta Bay, and 3) Study on monitoring system of waters quality by using CDOM parameter in the Jakarta Bay.

This research was conducted in the Jakarta Bay. It is located in the Northern Jakarta of which is a capital of Republic of Indonesia. Position of the Jakarta Bay is located on 106°21'-107°03' East Longitude and 5°10'- 6°10' South Latitude, it is bordered by Tanjung Pasir in the Western side and Tanjung Karawang in the Eastern side. This Bay has sea area of 514 Km<sup>2</sup> width with the length of shore line is 461 km, and has an average depth of 18 m. There are 13 rivers that got into into the Jakarta Bay. Observation stations were conducted randomly between 16-30 stations.

Literature review on water quality of Jakarta Bay from 1970's to present indicated that the Jakarta Bay receives continuous pressure due to eutrophication and heavy pollutions. On the other hand, the bay economically plays an important role for various stake-holders who use this bay for many purposes, such as tourism, fisheries, and recreation, industry, transportation, research, and education.

This research used some data, both primary and secondary data that were collected since 1970s until the last data of 2008, covering water quality data that had a tight relation to the eutrophication process, such as water transparency level and chlorophyll-a concentration.

The results of this study indicated that the mean of water transparency were stable during 1970's to 1990's around 7.5 m, but sharply decreased to 3.8 m in 2000's. On the other hand, mean chlorophyll-a concentration showed a reversal pattern from water transparency, that the concentration was rapidly increased from 1.71 to 7.8 g/m<sup>3</sup> during 1970's to 2000's.

From these data, it is clearly seen that eutrophication is occurring in the Jakarta Bay. Empirical model for predicting water transparency developed using multi-temporal Landsat-7 ETM+ data and field data collected in 2004 indicted that the model was good and capable to predict water transparency. The model was applied to both old Landsat aquired in 1970'a (Landsat-1, 2 and 3 MSS), 1980's (Landsat-4 and 5 MSS and TM), and 1990's (Landsat-5 and 7, TM and ETM+), as well as the latest data of 2000's (Landsat-7 ETM+). Maps of water transparency and Trophic State Index (TSI) derived from emprical predicting model indicated a decreasing tendency of water transparency from 7.5 to 4.0 m

during the 1970's to 2000's with the highest decreasing rate from 1980's to 2000's, while the TSI showed an oligotrophic condition during 1970's to 1980's, but move to mesotrophic condition in 1990, and decreasing to eutrophic and hypertrophic condition in 2000's. Other trophic index, TRIX that calculated using chlorophyll-a concentration field data also showed an increasing pattern of this index from 1970's to 2000's which described a strong eutrophication is taking place in the Jakarta Bay.

The result of analysis using ASSETS model indicated that the *Overall Human Influence/OHI index* in Jakarta Bay will be highly increasing (*Moderate High*). *Overall Eutrophic Condition/OEC* index based on both primary symptom or secondary symptom indicated that Jakarta Bay was in high category condition. In the future, Definition of Future Outlook /DFO indicator showed that Jakarta Bay will be in strong-worse condition (*Worsen High*). Furthermore, ASSETS is an appropriate model to know the eutrophication status in Jakarta Bay in which the result can be used by decision maker and planner to manage the Jakarta Bay.

The water environment in the Jakarta Bay getting strong pressure due to heavy eutrophication indicated by algal blooms occurrence causing mass fish kill for last decades. Algal blooms is a rapid increase or accumulation in the population of algae in an aquatic system. Algal blooms may occur in freshwater as well as marine environments. A harmful algal bloom (HAB) is an algal bloom that causes negative impacts to other organisms via production of natural toxins, mechanical damage to other organisms, or by other means. HABs are often associated with large-scale marine mortality events and have been associated with various types of shellfish poisonings.

Algal blooms in the Jakarta Bay was monitored by using Terra and Aqua satellites MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectro-Radiometer) data from 2004 to 2008, shows that the high occurrences of algal blooms are in April to May and September to October. Massive fish kill follows Algal-blooms events if the oxygen depletion formed and the water circulations are weak.

Result of analysis on the algal blooms occurrence that was related to massive fish kill occurrence indicated that there was a consistent pattern, namely low Chlorophyll-a concentration were found before the algal bloom occurrence, in

which its concentration reached its peak of  $\geq 10 \text{ mg/m}^3$  on the algal blooms occurred, and it became lower after the algal blooms ended. It seemed to provide sufficient good result and it was appropriate to the fact (*fit/match*).

Phytoplankton abundance pattern can be used as one indicator for arranging early warning system based on unharmed species (*diatom or dinoflagelata*) and harmful (*dinoflagelata*). If the amount of unharmed phytoplankton were extremely high ( $>10^6 \text{ sel/L}$ ) so the algal bloom occurrence was categorized as harmful condition. Some phytoplankton species can threaten human health (toxic micro-*algae*) and it can cause massive fish kill. The difference of high-low tide can be used as an indicator of massive fish kill occurrence.

To know danger level of algal blooms occurrence in Jakarta Bay it is needed to monitor and identify blooming phytoplankton species, to observe whether it is *harmful species (dinoflagelatta)* or not. Government has to increase awareness and disaster mitigation caused by algal blooms occurrence that can cause economic damages and death of people

Other parameter that can be used for monitoring Jakarta Bay is CDOM (Colored Dissolved Organic Matter), also called yellow substance or gelbstoff) which is an important optical component of marine and fresh water. It is produced naturally in the sea by the decay of organic material, but in estuaries there is a further source in the freshwater that drains through the land and subsequently enters the head waters of the estuary.

The result of analysis on predicting DOM indicated that the CDOM absorption plot on the wave length of 440 nm ( $\text{CDOM}_{g440}$ ) to the correction value to the MODIS atmospheric light correction on the Blue Band (Band-3), Green (Band-4), and Red (Band-1), light ratio transformation of the Blue Band light ( $\text{Band-3/Band-4}$ ), Blue-Red ( $\text{Band-3/Band-1}$ ), and Green-Red ( $\text{Band-4/Band-1}$ ), and transformasi light of the Blue chromaticity ( $X = \text{Band-3}/(\text{Band-3} + \text{Band-4} + \text{Band-1})$ ), Red chromaticity light ( $Y = \text{Band-4}/(\text{Band-3} + \text{Band-4} + \text{Band-1})$ ), and Red chromaticity cahaya ( $Z = \text{Band-3}/(\text{Band-3} + \text{Band-4} + \text{Band-1})$ ). This Plotting was based on the imagery data of 8 Terra satellites and 6 Aqua-MODIS satellites, in which the obtained data on the same date and nearly

simultaneous. High CDOM concentration and low salinity was in near shore line, particularly it was concentrated in the area of which was known as run-off freshwater flow through the rivers. The strong influence of freshwater was detected on the imagery on rainy season (January-February) and it continued until the end of transitional season from rainy season to summer, especially around the the mid-size rivers, such as Cisadane river in the Western part and Citarum river in the Eastern part.

The result of this study can be concluded as follows :

1. Emphiric Model of transparency and Chlorophyll-a from multi-temporal data and Landsat satellite imagery multi-sensor can monitor water quality of the Jakarta Bay effectively and efficiently.
2. ASSETS model Analysis indicated that in the future the condition of Jakarta Bay will be getting worse and its eutrophication intensity will be getting strong (*worsen high*).
3. The mapping of Chlorophyll-a concentration and distribution using remote sensing technique (Terra Satellite imagery and Aqua MODIS imagery) can be used as a reference for arranging an *early warning system* of algal blooms occurance in the Jakarta Bay.
4. The mapping of CDOM indicated that the Jakarta Bay water is more influenced by materials from land and rivers.

# BAB I

## EUTROFIKASI PERAIRAN TELUK JAKARTA

Agus Sediadi

### ABSTRACT

Since the Jakarta Bay is economically important for various stake holders, then understanding the eutrophication processes, condition and its status, in the past, present time, and in the future through scientific research is inevitable. The objectives of this research are (1) To analyze the water quality parameters that can be used as an indicator of eutrophication phenomenon, (2) To develop monitoring tools for observing eutrophication process, and (3) To assess the tendency of eutrophication in the future using ASSETS (*Assessment of Estuarine Trophic Status*) model. The method used in this research is marine remote sensing techniques through the application of multi-temporal and multi-sensor of Landsat satellites data. Results from field sampling of water quality data indicated that the mean of water transparency were stable during 1970's to 1990's around 7.5 m, but sharply decreased to 3.8 m in 2000's. On the other hand, the mean chlorophyll-a concentration showed a reversal pattern from water transparency, that the concentration was rapidly increased from 1.71 to 7.8 g/m<sup>3</sup> during 1970's to 2000's. Based on these data, eutrophication is occurring in the Jakarta Bay. Empirical model for predicting water transparency developed using multi-temporal Landsat-7 ETM+ data and field data collected in 2004 indicated that the model was good and capable to predict water transparency. The model was applied to both old Landsat acquired in 1970's (Landsat-1, 2 and 3 MSS), 1980's (Landsat-4 and 5 MSS and TM), and 1990's (Landsat-5 and 7, TM and ETM+), as well as the latest data of 2000's (Landsat-7 ETM+). Maps of water transparency and Trophic State Indeks (TSI) derived from empirical predicting model indicated a decreasing tendency of water transparency from 7.5 to 4.0 m during the 1970's to 2000's with the highest decreasing rate from 1980's to 2000's, while the TSI showed an oligotrophic condition during 1970's to 1980's, but move to mesotrophic condition in 1990, and decreasing to eutrophic and hypertrophic condition in 2000's. Thus, all these facts proved that the eutrophication is still going from the past to the present time. Utilization of ASSETS model for knowing the eutrophication of Jakarta Bay in the future based on several input parameters showed that strong eutrophication will be continued in the future in which caused worsen condition of the water quality.

*Keywords:* ASSETS model, Chlorophyll-a, Empirical model, Eutrophication, Jakarta Bay, Landsat, Transparency, TSI.

## PENDAHULUAN

Kata eutrofik (*eutrophic*) berarti zat hara (*nutrient*) yang berlebih (*well-nourished*). Jadi, eutrofikasi didefinisikan sebagai meningkatnya level makanan pada suatu ekosistem perairan (danau, perairan pesisir dan laut) yang disebabkan masukan zat hara/nutrisi (fosfat dan nitrat) yang sangat berlebih pada lapisan eufotik (*euphotic*). Fenomena ini telah menyebar luas di seluruh daerah pesisir di dunia (UNEP, 2006) dan menjadi ancaman utama bagi kesehatan lingkungan perairan sejak tiga dekade terakhir ini (Ryther & Dunstan, 1971; Nixon 1995; Cloern, 2001; Elmgren, 2001; Conley *et al.*, 2002; Rønnberg & Bonsdorff, 2004; Andersen *et al.*, 2006; Bachman *et al.*, 2006). Disamping itu, fenomena ini juga telah menjadi perhatian masyarakat ilmiah di seluruh dunia (SCIRUS, 2007).

Masalah eutrofikasi diketahui sudah berlangsung di berbagai wilayah perairan pesisir dunia lebih dari 3 dekade. Oleh karenanya, topik ini telah menarik perhatian yang semakin meningkat, baik dari pemerintah maupun masyarakat ilmiah dunia (Nixon, 1995; Cloern, 2001; Elmgren, 2001; Conley *et al.*, 2002; Rønnberg & Bonsdorff, 2004; Andersen *et al.*, 2006; Bachman *et al.*, 2006). Berbagai komisi/badan, yang mengkaji eutrofikasi di Eropa seperti, Oslo Paris Commission (OSPAR), Helsinki Commission (HELCOM), National Estuarine Eutrophication Assessment (NEEA), dan di Amerika seperti, National Center for Coastal Oceans Science (NCCOS), NOAA telah melakukan upaya penelitian, kerjasama dan membangun sistem monitoring untuk pengelolaan eutrofikasi (Hodgkin & Hamilton 1993; Joint *et al.*, 1997; Bricker *et al.*, 1999; OSPAR, 2001; SCIRUS, 2007). Tidak kurang dari 5000 artikel ilmiah yang ditulis di berbagai jurnal sehubungan dengan eutrofikasi selama 2 dekade belakangan ini (Xiao *et al.*, 2007). Mindy *et al.* (2008), dalam penelitiannya mengidentifikasi 415 daerah pesisir di dunia yang mengalami eutrofikasi dengan kandungan oksigen terlarut yang sangat rendah (*hypoxic*). Dari jumlah tersebut, 169 daerah pesisir terdokumentasi sebagai daerah dengan kandungan oksigen mendekati nol, 233 lokasi merupakan daerah yang sudah menjadi perhatian, namun hanya 13 daerah lainnya sudah kembali pulih. Hal ini menunjukkan bahwa ada keseriusan yang sangat tinggi untuk menangani masalah eutrofikasi.



Berdasarkan perkembangan waktu, proses eutrofikasi dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yakni: (1) Eutrofikasi alami (*natural eutrophication*), yaitu proses eutrofikasi yang berlangsung lama dan panjang dengan kurun waktu  $10^3$ – $10^4$  tahun, sehingga memungkinkan suatu ekosistem dapat beradaptasi terhadap bertambahnya masukan nutrient ke perairan; (2) Eutrofikasi buatan (*cultural/man-made/anthropogenic eutrophication*), yaitu proses eutrofikasi yang berjalan sangat cepat dengan skala waktu sekitar 10 tahun atau kurang, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem dan selanjutnya mengganggu lingkungan dan dapat membahayakan sumberdaya hayati (Kelly & Naguib, 1984; Cruzado, 1988; Stirn, 1988; Coelho *et al.*, 2004). Proses eutrofikasi sebenarnya menyebabkan ekosistem perairan menjadi produktif dan subur, sehingga di satu sisi bermanfaat di sektor perikanan (Coelho *et al.*, 2004), namun di sisi lain pasokan zat hara (*nutrient*) yang sangat berlebih tersebut juga dapat menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan perairan (Gruau *et al.*, 2005).

Penyebab utama terjadinya eutrofikasi adalah meningkatnya secara cepat jumlah penduduk (diduga akan menjadi 9,2 milyar penduduk pada tahun 2050), sehingga terjadi konversi lahan untuk pemukiman dan untuk meningkatkan kapasitas produksi pertanian dan industri, terutama pada negara-negara sedang berkembang. Hal ini selanjutnya akan menyebabkan peningkatan pencemaran zat hara (*nutrient pollution*) yang langsung masuk ke ekosistem perairan, seperti yang berasal dari aktivitas pertanian, budidaya perairan, penampungan tinja (*septic tank*), buangan rumah tangga, limbah industri dan pembakaran bahan bakar fosil (Dahuri, 1994; Coelho *et al.*, 2004; Feuerpfeil *et al.*, 2004; Gruau *et al.*, 2005; Prabowo, 2008; Mindy *et al.*, 2008; Mindy & Greenhalgh, 2009; Andersen & Conley, 2009; Nobre & Ferriera, 2009).

Kontribusi pencemaran zat hara terhadap proses eutrofikasi sangat bervariasi nyata dari negara- ke negara lainnya. Di Amerika Serikat dan negara-negara Uni Eropa, sumber eutrofikasi berasal dari pupuk komersial dan kotoran hewan, sedangkan di Asia dan Afrika, buangan limbah rumah tangga merupakan sumber eutrofikasi utama (Mindy & Greenhalgh, 2009). Menurut Mindy *et al.* (2008), zat hara masuk ke ekosistem perairan dapat melalui udara, air permukaan atau air tanah, seperti terlihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Sumber dan Alur Utama Zat Hara

Sumber	Alur		
	Udara	Air Permukaan	Air Tanah
Pengolahan limbah cair		√	
Industri	√	√	
Penampungan tinja		√	√
Aliran air dari wilayah perkotaan		√	
Pupuk pertanian	√	√	√
Aktivitas peternakan	√	√	√
Budidaya perairan		√	
Pembakaran bahan bakar fosil	√		

(Sumber: Selman & Greenhalch, 2009)

Sebagaimana telah dijelaskan di atas, bahwa proses eutrofikasi menyebabkan konsentrasi zat hara menjadi sangat tinggi, maka hal tersebut akan berdampak terhadap beberapa hal sebagai berikut: (1) Meledaknya populasi fitoplakton, yang dikenal sebagai marak algae, (2) Hilangnya tumbuh-tumbuhan perairan (*Submerged Aquatic Vegetation/SAV*), seperti lamun (*seagrass*) dan rumput laut (*seaweed*), karena terjadinya persaingan dengan marak alga dalam memanfaatkan cahaya dan zat hara, (3) Terjadi perubahan komposisi dan biomasa dari komunitas bentik yang akan mengurangi keanekaragaman jenis biota bentik dan menimbulkan dominasi jenis tertentu, (4) kerusakan terhadap terumbu karang, (5) Terjadinya pergeseran komposisi jenis fitoplankton (kelompok diatom) dapat memicu berkembangnya jenis-jenis fitoplankton yang memiliki racun (kelompok dinoflagellata) atau yang dikenal sebagai *Harmful Algal Blooms* (HAB), dan (6) terbentuknya kondisi perairan dengan kadar oksigen terlarut yang sangat rendah (*oxygen depletion*) atau mendekati 0 ml/L (*hypoxic*), yang pada akhirnya menghancurkan ekosistem perairan (Nixon, 1995; Gilbert & Burkholder, 2008; Mindy *et al.*, 2008).

Pada umumnya proses eutrofikasi sering terjadi di wilayah pesisir, di mana wilayah ini merupakan tempat terletaknya kota-kota besar di dunia (Coelho *et al.*, 2004), termasuk di antaranya adalah kota Jakarta berikut wilayah perairan pesisirnya, yakni Teluk Jakarta.

Perairan Teluk Jakarta terletak pada 106°21'-107°03' BT dan 5°10'- 6°10' LS dibatasi oleh Tanjung Pasir di sisi barat dan Tanjung Karawang di sisi timur. Teluk ini memiliki luas kawasan laut 514 Km<sup>2</sup> dengan panjang garis pantai 461 km, serta kedalaman rata-rata 18 m. Ada 13 sungai (Sungai Angke, Bekasi, Cakung, Cidurian, Ciliwung, Cikarang, Cimancuri, Ciranjang, Cisadane, Citarum, Karawang Krukut dan Sunter) yang bermuara ke Teluk Jakarta yang membawa lebih kurang 1400 m<sup>3</sup>/hari limbah padat, di mana 1100 m<sup>3</sup>/limbah padat langsung masuk ke teluk ini (Dinas Kehutanan, 1997; Damar, 2003; Arifin, 2004).

Kondisi limbah tersebut berasal dari aktivitas manusia dengan jumlah penduduk yang sangat tinggi (>20 juta jiwa), serta terjadinya pembangunan yang sangat cepat, tidak tertata, tidak terencana dan tidak ramah lingkungan di sekitar kota Jakarta dan kota penyangganya (*hinterland*), seperti Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi (Wilayah JABODETABEK) sehingga menjadi beban yang sangat berat bagi Teluk Jakarta, dalam menampung berbagai macam bahan pencemar, di mana salah satunya adalah eutrofikasi.

Gejala proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta sudah mulai tampak sejak 2-3 dekade terakhir. Beberapa indikator eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta, yaitu terjadi peningkatan konsentrasi zat hara (fosfat dan nitrat) 2-4 kali dan konsentrasi klorofil-a 2-3 lipat lebih tinggi antara tahun 1970an dan tahun 2000an, hilangnya keanekaragaman jenis ikan lebih dari 50% antara tahun 1970an dan tahun 2000an dari sekitar 200 jenis menjadi hanya 100 jenis saja, semakin meningkatnya kejadian marak alga dengan luasan yang semakin meningkat pula, dan kecenderungan menurunnya prosentasi tutupan karang hidup dari 30% di tahun 1980an menjadi 0% pada tahun 2000an (Arifin, 2004; Wouthuyzen *et al.*, 2006).

Walaupun indikasi proses eutrofikasi telah terlihat nyata dan telah berlangsung lama (sekitar 30 tahun), kajian yang membahas tentang proses eutrofikasi di perairan Indonesia umumnya dan khususnya perairan Teluk Jakarta masih sangat jarang dilakukan. Data dan informasi yang dapat menjelaskan berlangsungnya proses eutrofikasi di perairan ini juga masih sangat langka. Padahal, Teluk Jakarta merupakan perairan yang memiliki nilai ekonomis yang sangat penting, bila ditinjau dari berbagai sektor, seperti perikanan, pariwisata

bahari, perhubungan, pendidikan/penelitian dan sektor lainnya. Oleh karena itu, Kajian terhadap proses eutrofikasi perairan Teluk Jakarta sudah sangat mendesak untuk segera dilakukan.

Berdasarkan pertimbangan di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama adalah: (1) Menganalisa data kualitas perairan Teluk Jakarta yang dapat digunakan sebagai indikator dari proses eutrofikasi. (2). Mengembangkan model empiris pendugaan kecerahan perairan (*transparency*) secara efektif dan efisien, yaitu menggunakan teknik penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) dengan memanfaatkan data multi-temporal dan multi-sensor citra satelit Landsat untuk mengkaji kondisi eutrofikasi pada masa lampau dan masa sekarang, dan (3). Mengetahui kecenderungan eutrofikasi dimasa akan datang berdasarkan model ASSETS (*Assessment of Estuarine Trophic Status*), sehingga masalah yang ditimbulkan dari proses eutrofikasi dapat dipahami dan ditanggulangi sedini mungkin.

## **BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN**

### **1. Lokasi penelitian**

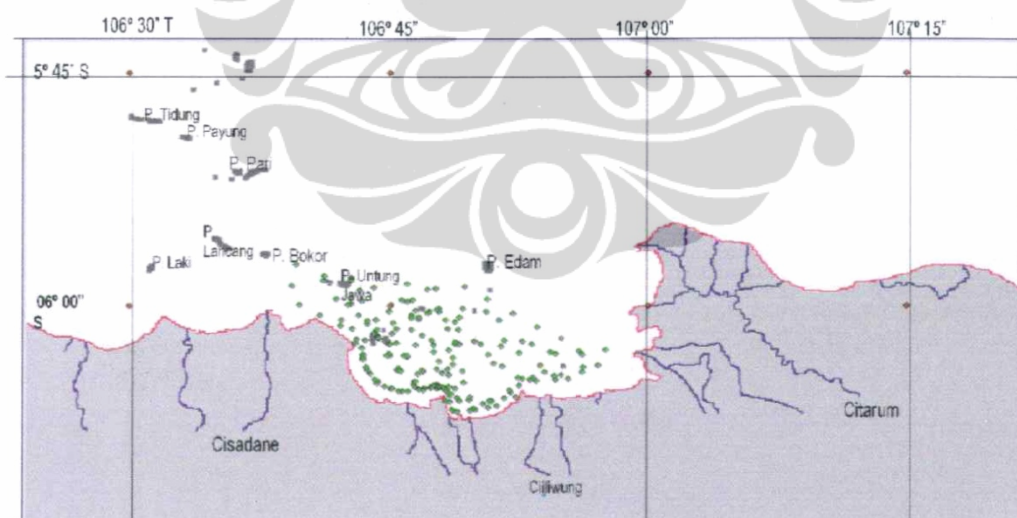
Penelitian ini dilakukan di perairan Teluk Jakarta. Teluk ini terletak di utara Kota Jakarta yang merupakan ibu kota Republik Indonesia. Posisi Teluk Jakarta terletak pada 106°21'-107°03' BT dan 5°10'- 6°10' LS, yang dibatasi oleh Tanjung Pasir di sisi barat dan Tanjung Karawang di sisi timur. Teluk ini memiliki luas kawasan laut 514 Km<sup>2</sup> dengan panjang garis pantai 461 km, serta kedalaman rata-rata 18 m. Ada 13 sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta. Stasiun pengamatan dilakukan secara acak (*random*) antara 16-30 stasiun, seperti terlihat pada Gambar 1.1.

Penelitian ini menggunakan berbagai data, baik data primer dan data sekunder yang dikumpulkan sejak tahun 1970an hingga data terakhir tahun 2008, yang mencakup data kualitas air yang memiliki hubungan erat dengan proses eutrofikasi, seperti tingkat kecerahan perairan (*transparency*) dan konsentrasi klorofil-a (*Chlorophyll-a*). Data pada tahun 2004 sampai tahun 2007 dikumpulkan secara intensif oleh Wouthuyzen *et al.* (2004, 2005, 2006, dan 2007).

Pengumpulan data citra dilakukan setiap 16 hari yang disesuaikan dengan jadwal lintasan satelit Landsat-7 ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) dan satelit Terra- dan Aqua-MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) di atas Teluk Jakarta. Sampling dirancang secara bersamaan (*near simultaneously*) dengan lintasan satelit sekitar 2-3 jam sebelum dan sesudah citra satelit tersebut melintas pada pukul 9.45. Pada tahun 2008 dilakukan penambahan data primer (kecerahan, klorofil-a dan kelimpahan fitoplankton) pada bulan Mei dan November.

## 2. Pengukuran dan cuplikan data lapangan

Pengukuran kecerahan perairan dilakukan dengan menggunakan cakram Secchi (*Secchi disk*) yang terbuat dari papan kayu yang dicat putih dan berukuran diameter 30 cm. Cakram tersebut diturunkan ke perairan dengan menggunakan seutas tali secara tegak lurus, sehingga papan tersebut tidak terlihat lagi (Gambar 1.2). Jarak pandang papan Secchi setelah dimasukkan ke dalam air maka panjang tali merupakan data kecerahan perairan yang dinyatakan dalam m (*meter*).



Gambar 1.1. Lokasi penelitian di perairan Teluk Jakarta, Titik-titik menunjukkan stasiun pengukuran dan sampling kualitas perairan di teluk ini selama penelitian berlangsung.

Pengukuran klorofil-a, dilakukan dengan mengambil sampel air laut sebanyak 1000 ml di setiap stasiun (Gambar 1.2). Sampel ditempatkan pada botol sampel plastik yang kemudian disimpan pada sebuah kotak tertutup rapat yang diberi potongan es batu (*cool box*). Di laboratorium, 500 ml dari sampel yang dikoleksi diambil untuk diukur konsentrasi klorofil-a (CHL-a) yang dinyatakan dalam satuan  $\mu\text{g/L}$  dengan cara menyaring sampel air tersebut menggunakan kertas saring serat kaca (*fiber-glass filter*) Whatman GF/F. CHL-a yang tersaring pada filter, lalu diekstraksi dengan menggunakan 8~10 ml aseton 90% selama 20-24 jam, kemudian sampel *disentrifuge* dengan kecepatan 2000~2500 RPM, dan dibaca dengan menggunakan Turner Fluorometer Model 450. Prosedur pengukuran klorofil-a mengikuti metoda baku seperti yang diterangkan oleh Strickland & Parson (1972).



Gambar 1.2. Sampling selama penelitian di perairan Teluk Jakarta.

### 3. Akuisisi dan Analisa Data Citra Satelit LANDSAT

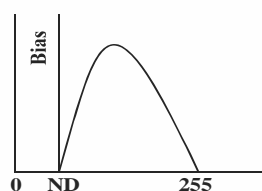
Untuk melihat fenomena eutrofikasi dalam jangka waktu yang panjang ( $\pm$  35 tahun) secara efektif dan efisien digunakan beragam data citra satelit Landsat. Satelit Landsat telah menyediakan secara terus-menerus rekaman data permukaan

bumi secara global sejak tahun 1972. Rekaman citra satelit tersebut merupakan data yang paling konsisten dan memberikan pemahaman terhadap fenomena dan proses yang terjadi di permukaan bumi dalam skala ruang dan waktu serta disiplin ilmu (Cohen & Goward, 2004). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan data multi-temporal data citra Landsat dengan berbagai sensornya yang meliputi sensor *Multi Spectral Scanner* (MSS) pada citra satelit Landsat-1, Landsat-2, dan Landsat-3, sensor *Thematic Mapper* (TM) pada Landsat-5, dan sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) pada Landsat-7. Data yang digunakan tersebut sebagian dibeli dari Biotrop, Landsat USGS, Landsat.org, Global Land Cover Facility (GLCF; <http://glcf.umiacs.umd.edu>) dan sebagian lainnya di unduh dari <http://glovis.usgs.gov/>. (Lampiran 1.1.).

Karena pada penelitian ini digunakan banyak data citra (*multi temporal*), maka pengaruh atmosferik pada setiap citra harus dikoreksi terlebih dahulu. Koreksi atmosferik sederhana yang dikenal dengan *Dark Object Subtraction-DOS* (Chaves, 1996) digunakan dalam penelitian ini. Prosedur ini didasarkan pada asumsi bahwa data citra satelit pada setiap bandnya (kanal/ saluran) memiliki nilai digital (ND) yang mendekati nilai nol (0), jika tidak ada gangguan atmosferik. Jadi, jika ND suatu band lebih besar dari nol ( $> 0$ ), maka selisih antara 0 dan ND tersebut disebabkan oleh pengaruh atmosferik (bias), termasuk gangguan umur/ketuaan suatu sensor (USGS, 1984; Ritchie & Cooper, 1987). Secara matematis cara mengurangi pengaruh atmosferik tersebut dinyatakan dalam persamaan berikut (Gambar 1.3):

$$Y_{ij} = X_{ij} - \text{Bias}_{ij}, \text{ di mana:}$$

- $Y_{ij}$  = ND terkoreksi band i tanggal j
- $X_{ij}$  = ND band i tanggal j
- $\text{Bias}_{ij}$  = ND minimum band i tanggal j



Gambar 1.3. Grafik koreksi atmosferik sederhana data multi-temporal citra satelit.



Selanjutnya, karena data yang digunakan terdiri dari 3 sensor atau multi-sensor, maka seluruh data yang terkoreksi diubah menjadi Radians yang memiliki nilai satuan  $\text{Watts/m}^2/\mu\text{m/steradians}$ , sehingga dengan demikian seluruh data memiliki nilai satuan yang dapat dibandingkan dengan satu dengan lainnya.

Landsat-7 ETM+ terdiri atas 8 band (Tabel 1.2), namun dalam penelitian ini hanya digunakan 3 band pada panjang gelombang tampak. Jadi, ND terkoreksi data citra satelit pada band/saluran gelombang tampak, yaitu ND Band-1 (Biru; 0,485-0,520  $\mu\text{m}$ ), Band-2 (Hijau; 0,520-0,600  $\mu\text{m}$ ) dan Band-3 (Merah; 0,630-0,890  $\mu\text{m}$ ) di setiap posisi stasiun sampling diekstrak dan kemudian dikorelasikan dengan nilai kecerahan perairan pada setiap titik stasiun sampling yang sama dengan menggunakan berbagai ragam persamaan regresi (linier, polinomial, power, logaritmik, eksponensial, regresi berganda), lihat Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Kisaran panjang gelombang Landsat ETM+ (Lathroph & Lillesand, 1986).

No Band	Kisaran Spektrum ( $\mu\text{m}$ )	Kegunaan
<b>Band-1</b>	<b>0,480 – 0,520</b>	Membedakan tumbuh-tumbuhan, dapat tembus ke perairan, digunakan untuk pemetaan batimetri perairan dangkal
<b>Band-2</b>	<b>0,520 – 0,630</b>	Refleksi hijau dari tumbuhan sehat
<b>Band-3</b>	<b>0,630 – 0,690</b>	Penyerapan klorofil untuk membedakan tumbuh-tumbuhan
<b>Band-4</b>	<b>0,760 – 0,900</b>	Kelembaban tumbuh-tumbuhan dan membedakan tubuh perairan dan daratan
<b>Band-5</b>	<b>1,550 – 1,750</b>	Mengukur tumbuh-tumbuhan dan membedakan salju dan awan
<b>Band-6</b>	<b>10,400 – 12,400</b>	Pengukuran dan pemetaan suhu
<b>Band-7</b>	<b>2,080 – 2,030</b>	Analisa mineral dan jenis batu-batuan, dan sensitive terhadap kelembaban tumbuhan
<b>Band-8</b>	<b>0,50 – 0,90</b>	Band pankromatik untuk mengamati permukaan bumi secara lebih jelas
<b>Resolusi: 30 m; Tingkat Sinyal: 8 bit</b>		



Persamaan yang memberikan nilai determinasi ( $R^2$ ) atau korelasi tertinggi ( $r$ ) yang secara statistik memenuhi kriteria digunakan sebagai model pendugaan empiris kecerahan perairan Teluk Jakarta.

Status eutrofikasi perairan Teluk Jakarta dilihat dengan menggunakan indeks status trofik (*Trophic State Index/TSI*) yang dikembangkan oleh Carlson (1977) berdasarkan 3 parameter kualitas perairan, yaitu klorofil-a, transparansi dan total fosfat (TP). Data TP tidak diukur ada karena sesuatu hal, maka pada penelitian ini hanya digunakan 2 parameter yaitu, kecerahan perairan dan konsentrasi klorofil-a. Menurut Carlson & Simpson (1996), ketiga parameter tersebut saling berkaitan dan memberikan nilai indeks sama tetapi parameter klorofil-a merupakan prioritas sebab akurasinya tinggi untuk pendugaan marak alga. TP sangat dipengaruhi oleh lokasi dan musim (Giovanardi & Vollenweider, 2004). TSI diubah dari data transparansi dan klorofil-a menjadi nilai baku yang berkisar antara 0 hingga 100 dengan menggunakan persamaan:

$$\text{TSI Transparansi} = 60 - 14,41 * \ln(\text{transparansi}) \dots\dots\dots(1)$$

TSI dikelompokkan menjadi 4 kelas status trofik sebagai berikut:

TSI <40 dikategorikan sebagai perairan oligotrofik,

TSI 40-50 sebagai perairan mesotrofik,

TSI 50-60 sebagai perairan eutrofik, dan

TSI > 60 dikategorikan sebagai perairan hipertrofik.

Disamping TSI, digunakan pula indeks lainnya, yaitu *Tropical Indeks for Marine Systems* (TRIX) yang digunakan oleh Damar (2003) yang pada dasarnya dikembangkan oleh Vollenweider *et al.* (1992) sebagai pembanding. Indeks ini telah digunakan sebagai alat pemantauan rutin di Laut Adriatik oleh otoritas Italia. Perhitungan TRIX dilakukan dengan menggunakan empat parameter, yaitu konsentrasi klorofil-a, kadar saturasi oksigen, total nitrogen dan total fosfat, namun pada peniltian hanya digunakan satu paramaeter saja yakni konsentrasi klorofil-a, karena data ketiga parameter lainnya tidak dimiliki.

TRIX dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{TRIX} = k/n \sum_{i=1}^n ((\log M - \log L) / (\log U - \log L)) \dots\dots\dots(2)$$

Di mana,

k = 10 (faktor skala);

n = Jumlah variabel (dalam hal ini hanya 1, konsentrasi klorofil-a);

U = Batas atas nilai konsentrasi klorofil-a Teluk Jakarta (Klorofil-a Mak);

L = Batas bawah nilai konsentrasi klorofil-a Teluk Jakarta (klorofil-a Min);

M = Nilai konsentrasi klorofil-a

Nilai TRIX berkisar antara 0 dan 10, di mana nilai TRIX > 6 menunjukkan keadaan eutrofikasi yang kuat sedang berlangsung

#### 4. Pendugaan Status Tropik Perairan Estuarin

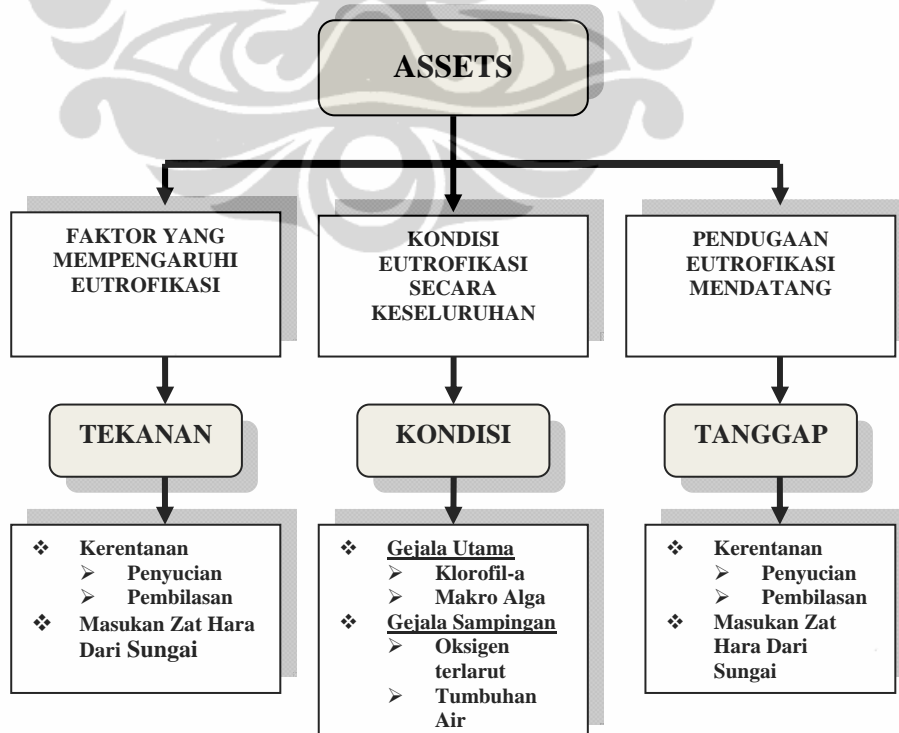
Untuk melihat kecenderungan kondisi eutrofikasi perairan Teluk Jakarta di masa mendatang digunakan model "ASSETS" (*Assessment of Estuarine Thropic Status*). ASSETS adalah suatu model yang dikembangkan oleh The US National Estuaries Eutrophication Assessment (NEEA) yang telah digunakan di 141 muara-muara sungai di Amerika Serikat, serta diuji cobakan pula di Eropa (Portugal) dan Asia (Cina). Model ini mengevaluasi dampak dari eutrofikasi terhadap perairan pesisir dengan tujuan untuk memberikan informasi dan klasifikasi secara keseluruhan tentang status eutrofikasi di perairan tersebut (Bricker *et al.*, 1999, 2003; Ferreira *et al.*, 2003, Nobre *et al.*, 2005). Program ASSETS dapat diunduh dari [www.eutro.org](http://www.eutro.org).

Pendekatan ASSETS mencakup komponen kuantitatif dan semi-kuantitatif, dengan menggunakan 3 acuan kerja dari respon kondisi tekanan, yaitu: (1) tekanan lingkungan (*Overall Human Influence /OHI*) dari aktivitas manusia yang berkaitan dengan sistem alam dalam menahan dan melepaskan zat hara; (2) Kondisi eutrofikasi secara menyeluruh (*Overall Eutrophication Conditions/OEC*). Ada 5 (*lima*) variabel yang digunakan untuk menentukan kondisi eutrofikasi yang dibagi menjadi 2 (*dua*) kelompok, yaitu gejala (*symptom*) primer (Chl-a dan makroalga) dan gejala sekunder (DO, marak alga beracun/HAB, dan hilangnya

tumbuhan air). Level di setiap indikator menggabungkan konsentrasi yang kuat dari variabel tersebut, seperti kondisi HAB e dan rendahnya konsentrasi oksigen. (3) Harapan di masa depan (*Definition of Future Outlook /DFO*) tentang kondisi di suatu sistem, yaitu indikator yang mewujudkan bagaimana kondisi dalam sistem perairan akan mengalami perubahan di masa depan (prediksi kondisi).

Proses pemasukan data mencakup: (1) Rincian sistem (*system details*) berupa data geografis dan luas area pengamatan; (2) Faktor adanya pengaruh tekanan lingkungan (*influencing factors*), yang mencakup pemilihan persamaan lokasi penelitian (*estuarine equation* atau *coastal equation*); (3) Kondisi eutrofikasi (*eutrophication conditions*) dari variabel gejala primer (*Primary Symptoms*) dan gejala sekunder (*Secondary symptoms*); dan (4) Prediksi ke depan (*future outlook*), yang mencakup tekanan faktor zat hara dari sektor pertanian, penduduk dan limbah rumah tangga (Gambar 1.4.).

Data yang harus dimasukkan ke dalam model ASSETS ada empat tahap. Tahap pertama (lihat Lampiran 1.2.), adalah pengisian informasi geografis, sebagai berikut: Nama perairan: *Jakarta Bay*; jenis perairan: *coastal bay*; posisi lokasi perairan: *Long. 106°21'-107°03' E; Lat.5°10'- 6°10'S*; luas teluk: 514 km<sup>2</sup>.



Gambar 1.4. Tata alur (*Flow chart*) Metode ASSETS (Brickers, 2003).

Tahap kedua merupakan faktor yang mempengaruhi lingkungan (*influencing factor*). Pada tahap ini, ada 2 parameter utama yang harus diisi, yaitu faktor muatan (*loading*) dan faktor kerentanan (*suceptibility*). Parameter yang harus diisi pada faktor muatan adalah pemilihan 2 jenis persamaan (persamaan untuk perairan estuarin/*estuarine equation* dan untuk perairan pesisir/*coastal equation*). Dalam kasus ini yang dipilih adalah persamaan pesisir. Selanjutnya parameter yang harus diisikan adalah nilai pasang-surut rerata (*mean tidal prism*- $\times 10^6 \text{ m}^3$ ), fraksi masa air pada saat surut (*ebb*) yang tidak tergantikan, jumlah pasut dalam sehari, dan kandungan rerata nitrogen ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) di perairan pesisir dan perairan lepas pantai, masukan nitrogen effluent. Untuk kelima parameter tersebut, masing-masing diisikan angka sebagai berikut: **100; 0,5; 2; 40; 5** dan **21260** (lihat Lampiran 1.3).

Adapun faktor kerentanan terdiri dari tiga parameter, yakni: volume perairan Teluk Jakarta ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ ), jumlah volume air sungai yang masuk ke Teluk Jakarta ( $\text{m}^3 \text{ detik}^{-1}$ ), dan kisaran pasang surut (m). Untuk ketiga parameter ini, masing-masing diisikan nilai sebagai berikut: **9,3; 27** dan **1,5** (lihat Lampiran 1.3). Dari kedua faktor (muatan dan kerentanan) maka akan menghasilkan suatu nilai (*score*), di mana score untuk kerentanan akan jatuh pada kondisi sedang (*moderate*), sedangkan faktor pasokan zat hara akan jatuh pada kondisi tinggi (*high*), sehingga *score* akhir berada pada kondisi cukup tinggi (*moderate high*).

Tahap ketiga adalah kondisi/status eutrofikasi yang terdiri dari dua gejala (*symptom*), yaitu gejala primer (*primary symptom*) dan sekunder (*secondary symptom*). Gejala primer mencakup dua parameter, yaitu nilai konsentrasi klorofil-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ), luas tutupan dari konsentrasi klorofil, penutupan dan kejadian (berkala/periodik/episodik), demikian pula dengan parameter makro alga. Untuk gejala primer, parameter yang diisi masing-masing nilai sebagai berikut: **50; moderate (25-50%)** dan **periodic** (lihat Lampiran 1.4.).

Gejala sekunder (*secondary symptom*) mencakup tiga parameter yang harus diisi, yaitu kandungan oksigen terlarut (DO), kejadian marak alga (HAB) dan tumbuhan air (SAV). Untuk gejala sekunder, parameter yang diisi masing-masing nilai DO, luas tutupan dan kejadian dengan parameter yang diisi masing-masing sebagai berikut: **2; high (>50%)** dan **periodic** (lihat Lampiran 1.4.) Untuk

HAB, parameter yang harus diisi adalah status permasalahan, durasi dan kejadian, masing-masing sebagai berikut: *problem observed*, *days to week* dan *periodic* (lihat Lampiran 1.4.). Untuk SAV, parameter yang harus diisi adalah perubahan dan kekuatan perubahan dan kejadian, masing-masing sebagai berikut: *loss problem* dan *high (>50%)* (lihat Lampiran 1.4.).

Tahap keempat adalah memasukkan parameter untuk pendugaan eutrofikasi di masa mendatang (*future outlook*) yang terdiri dari data pengaruh tekanan pertanian (bertambah, tetap dan berkurang), dalam kasus ini diasumsikan tekanan pertanian bertambah. Pengaruh penambahan jumlah penduduk (bertambah, tetap dan berkurang), dalam kasus ini diasumsikan pula jumlah penduduk meningkat. Pengaruh perlakuan limbah (bertambah, tetap dan berkurang) dalam kasus ini diasumsikan bahwa tidak ada perubahan dalam perlakuan limbah. Pengaruh kombinasi peranan pertanian dan jumlah penduduk dalam persen (%), dalam kasus ini diasumsikan bahwa peningkatan jumlah penduduk lebih kuat pengaruhnya (90 %) dari pada pertanian (10 %) (lihat Lampiran 1.5.).

Dari kedua faktor kerentanan dan tekanan zat hara di masa mendatang, maka akan menghasilkan suatu nilai (*score*), di mana *score* untuk kerentanan akan jatuh pada kondisi sedang (*moderate*), sedangkan faktor pasokan zat hara akan jatuh pada kondisi meningkat (*increase*), sehingga *score* akhir berada pada kondisi yang akan semakin memburuk (*worsen high*) (lihat Lampiran 1.5.).

## HASIL

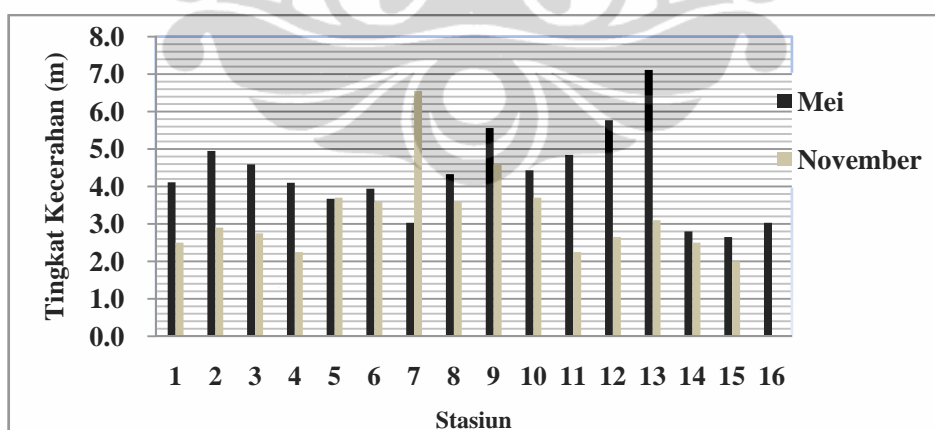
Untuk mengetahui proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta pada masa lampau (dekade 1970an sampai 1990an) dan masa kini (dekade 2000an), maka dalam penelitian ini dilakukan 2 kajian, yaitu kajian yang menggunakan data kecerahan perairan dan konsentrasi klorofil-a dari hasil pengukuran lapangan, serta kajian yang menggunakan data kecerahan perairan yang diturunkan dari penggunaan data multi-temporal citra satelit Landsat. Adapun untuk mengetahui kondisi eutrofikasi di masa mendatang digunakan model ASSETS dengan berbagai parameter yang diisi berasal dari data baik primer maupun sekunder.

### Tingkat Kecerahan (*Transparency*)

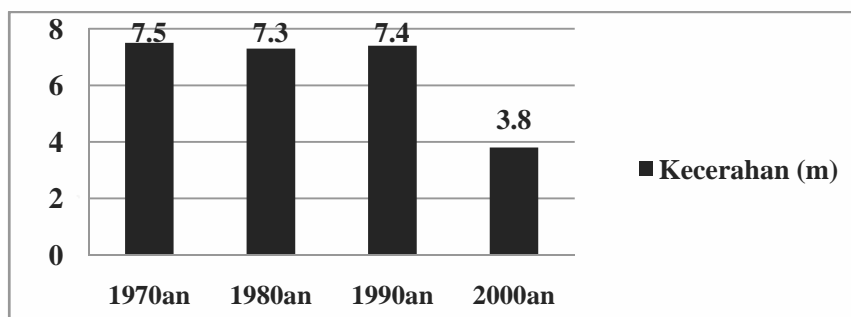
Data yang digunakan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder dan primer. Hasil pengukuran data sekunder diperoleh dari Lembaga Oseanologi Nasional-LIPI (1975, 1976a-d, 1977, 1978a-b, 1979a-d, 1985, 1987, 1993, 2004, 2007, 2008) dan Nontji (1984), sedangkan data di tahun 2000an diperoleh dari Wouthuyzen (2004, 2005, 2006, 2007). Keseluruhan data tersebut di lampirkan pada Lampiran 1.6. Adapun data primer diperoleh dari hasil pengukuran lapangan yang dilaksanakan pada bulan Mei dan November 2008 (Lampiran 1.7.).

Dari keseluruhan data di atas dikelompokkan menjadi 4 kelompok berdasarkan musim, yakni: Musim Peralihan-1 (Maret-April-Mei), Musim Timur (Juni-Juli-Agustus), Musim Peralihan-2 (September-Oktober-November) dan Musim Barat (Desember-Januari-Februari).

Pada Gambar 1.5. ditampilkan nilai kecerahan perairan Teluk Jakarta hasil pengukuran pada bulan Mei dan November tahun 2008. Gambar ini memperlihatkan bahwa nilai rerata kecerahan perairan Teluk Jakarta pada bulan Mei adalah 4,31 m, sedangkan pada bulan November adalah 3,24 m. Nilai rata-rata transparansi dalam kurun waktu 10 tahunan (dekadal) yang diperoleh baik dari data sekunder maupun primer disajikan pada Gambar 1.6.



Gambar 1.5. Nilai tingkat kecerahan perairan Teluk Jakarta hasil pengukuran pada bulan Mei dan November tahun 2008.



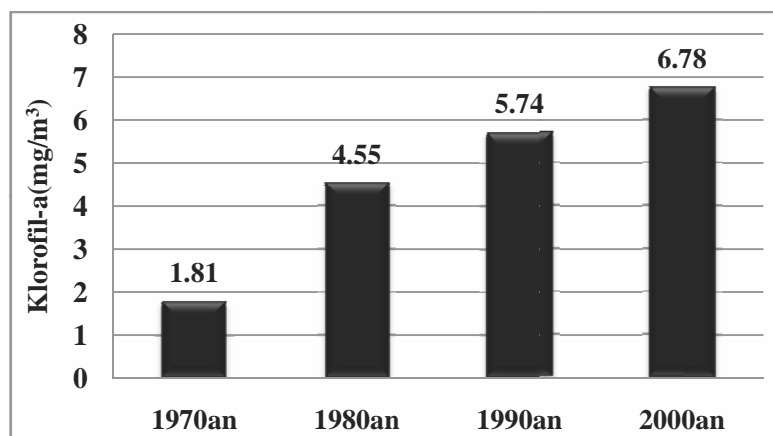
Gambar 1.6. Grafik perbandingan tingkat kecerahan pada tahun 1970an sampai tahun 2000an di perairan Teluk Jakarta.

Dari Gambar 1.6. terlihat adanya penurunan nilai kecerahan perairan yang tidak signifikan dari tahun 1970an hingga tahun 1990an (kecepatan penurunan kecerahan hanya 0,034m/tahun), namun terjadi penurunan yang tajam di tahun 2000an (0,176 m/tahun).

#### **Kandungan Klorofil-a (*Chlorophyll-a*)**

Sama seperti analisa kecerahan perairan, konsentrasi klorofil-a, dikelompokkan berdasarkan 4 (empat) musim pengamatan, yaitu Musim Peralihan-1 (Maret-April-Mei), Musim Timur (Juni-Juli-Agustus), Musim Peralihan-2 (September-Oktober-November) dan Musim Barat (Desember-Januari-Februari). Data konsentrasi klorofil-a berdasarkan kelompok musim dituangkan pada Lampiran 1.8.

Pada Gambar 1.7. ditampilkan nilai rerata konsentrasi klorofil-a perairan Teluk Jakarta dalam kurun waktu 10 tahunan yang dianalisis dari Lampiran 1.9. Gambar ini memperlihatkan bahwa nilai rerata konsentrasi klorofil-a pada tahun 1970an adalah 1,81 mg/m<sup>3</sup>, pada tahun 1980an meningkat menjadi 4,55 mg/m<sup>3</sup>, dan terus meningkat di tahun 1990an dan tahun 2000an masing-masing menjadi 5,74 mg/m<sup>3</sup> dan 6,78 mg/m<sup>3</sup>.



Gambar 1.7. Grafik perbandingan kandungan klorofil-a pada tahun 1970an sampai tahun 2000an di perairan Teluk Jakarta.

Dari ke dua parameter di atas terlihat bahwa ada kecenderungan terjadinya proses eutrofikasi yang ditandai dengan menurunnya nilai kecerahan perairan yang tajam, khususnya antara periode tahun 1990an dan tahun 2000an dan sebaliknya terjadi peningkatan konsentrasi klorofil-a. Untuk melihat proses eutrofikasi lebih rinci baik secara temporal maupun spatial, maka dilakukan analisa menggunakan data multi-temporal citra satelit Landsat.

### **Pengembangan Model Pendugaan Kecerahan Perairan Berdasarkan Data Citra Landsat**

Untuk membuat model prediksi kecerahan perairan Teluk Jakarta digunakan data multi-temporal Landsat-7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) Path: 122 dan Row: 064 yang diperoleh pada tanggal 21 Juni, 23 Juli, 8 Agustus, 24 Agustus, 8 September, 25 Oktober, 11 November 2004. Ekstraksi Nilai Digital (ND) Band-1 (gelombang biru), Band-2 (gelombang hijau) dan Band-3 (gelombang merah) serta nilai transformasi Kromatisiti band Biru =  $\text{Band1}/(\text{band1}+\text{band-2}+\text{band/3})$ , Kromatisiti band Hijau =  $\text{Band-2}/(\text{Band1}+\text{band-2}+\text{Band3})$  dan Kromatisiti band Merah =  $\text{Band-3}/(\text{Band-1}+\text{band-2}+\text{Band-3})$ , serta transformasi ratio Band-1/Band-2, Band-1/Band-3 dan Band-2/ Band-3, disajikan dalam Lampiran 1.10.

Pada Lampiran 1.10. disajikan Nilai koefisien korelasi hubungan antara ND Citra Landsat-7 ETM+ terkoreksi dan transparansi perairan Teluk Jakarta

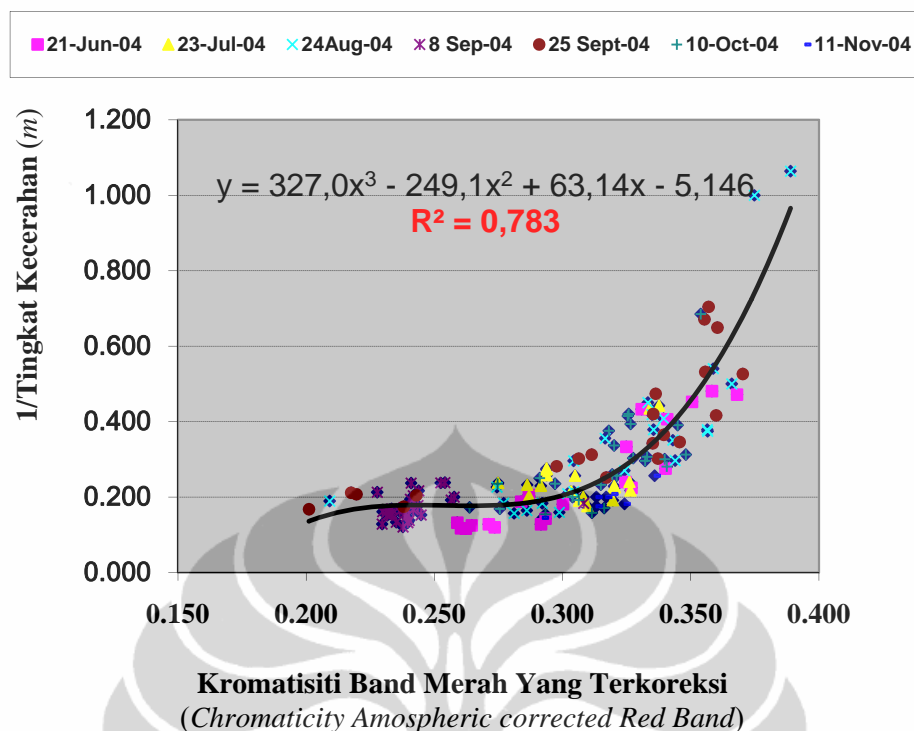


dengan menggunakan berbagai bentuk persamaan regresi. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa persamaan regresi polinomial orde 3 antara Kromatisiti band Merah dan kecerahan perairan memiliki nilai koefisien tertinggi ( $R^2 = 0,78$ ). Disamping itu, persamaan regresi linier berganda juga menghasilkan nilai koefisien regresi tertinggi ( $R^2 = 0,78$ ) antara nilai original ND Band-1, Band-2 dan Band-3 dengan kecerahan perairan, sedangkan ND original Band -1, Band-2 dan transformasi Kromatisiti band Hijau tidak memiliki hubungan sama sekali ( $R^2 < 0,1$ ). ND original Band-3, transformasi Kromatisiti Band Biru dan transformasi ratio Band-1/Band-2, Band-1/Band-3 dan Band-2/Band-3 memiliki hubungan yang lebih rendah ( $R^2 = 0,17 - 0,71$ ) dibandingkan dengan Kromatisiti band Merah dan yang menggunakan regresi linier berganda (Lampiran 1.10.).

Pada Gambar 1.8. ditampilkan model pendugaan kecerahan Teluk Jakarta yang selanjutnya digunakan dalam memetakan kecerahan perairan Teluk Jakarta. Algoritma tersebut kemudian aplikasikan terhadap 12 citra satelit lama, masing-masing 4 citra di tahun 1970 an (Landsat-1, 2 dan 3 MSS), 1980 an (Landsat-4 dan-5 TM) an dan 1990 an (Landsat-5 TM dan -7 ETM+) dan 4 buah citra yang relatif baru di tahun 2000 an, sehingga total ada 16 kecerahan perairan, seperti yang terlihat pada Gambar 1.10.

Berdasarkan peta pada Gambar 1.10. dapat dibuat peta Indeks Status Tropik (*Trophic State Indeks-TSI*) menggunakan persamaan 1 di atas (*Hal.21*), seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.11. Berdasarkan kedua gambar tersebut dapat dihitung nilai rerata kecerahan perairan dan nilai rerata TSI perairan Teluk Jakarta berdasarkan kurun waktu sepuluh tahunan/dekade (Tabel 1.4. dan Gambar 1.12).

Peta sebaran kecerahan perairan Teluk Jakarta (Gambar 1.10 dan Tabel 1.4) memperlihatkan bahwa kecerahan tinggi menyebar hampir di seluruh teluk (kecuali garis pantai) selama periode 1970-1980an, lalu menurun di tahun 1990 an dan terus menurun di tahun 2000an. Hal serupa terlihat pula pada peta sebaran TSI, di mana kondisi oligotrofik sepenuhnya mendominasi Teluk Jakarta pada periode 1970an-1980an dan sebagian di tahun 1990an. Kondisi oligotrofik mulai bergeser ke mesotrofik di tahun 1990an. Pada tahun 2000an pergeseran ke arah eutrofik dan hypertrofik, terutama di sepanjang garis pantai terlihat jelas.



Gambar 1.8. Algoritma empiris untuk menduga kecerahan perairan Teluk Jakarta dari berbagai Citra Satelit Landsat-7 ETM+ tahun 2004.

Nilai rerata kecerahan perairan (Gambar 1.11) menunjukkan bahwa perairan Teluk Jakarta memiliki nilai rerata tinggi ( $> 7$  m) di tahun 1970an. Pada dekade 1980an nilai tersebut sedikit menurun menjadi 7,0 m (laju penurunan kecerahan 0,02 m/tahun), nilai tersebut terus menurun menjadi 5,5 m pada dekade 1990an (laju penurunan 0,15 m/tahun) dan pada dekade 2000an nilai tersebut menjadi sekitar 4,0 m. (kecepatan penurunan 0,15 m/tahun).

Seiring dengan tingginya nilai rerata kecerahan perairan (Gambar 1.11), maka terlihat pula bahwa TSI perairan Teluk Jakarta pada 1970an sampai dekade 1990an berada pada kondisi oligotrofik dengan luasan sekitar 80000 Ha, sedangkan pada dekade 2000an, luasan perairan dengan kondisi oligotrofik sudah menurun hampir setengahnya sekitar 45000 Ha. Kondisi mesotrofik pada dekade 1970an hingga dekade 1980an relatif sama sekitar 50000 Ha, namun pada dekade 2000an kondisi mesotrofik menurun menjadi sekitar 30000 Ha. Demikian pula dengan kondisi perairan eutrofik, pada dekade 1970an hingga 1990an luas perairan dalam kondisi eutrofik 30000 Ha, sedangkan pada dekade 2000an

luasannya mencapai hanya 600 Ha. Pada kondisi perairan yang hipertrofik, luasan area pada kondisi tersebut relatif sama di semua dekade (Gambar 1.11.).

Tabel 1.3. Nilai kecerahan dan TSI perairan perairan Teluk Jakarta pada dekade 1970an hingga 2000an yang diperoleh dari hasil analisa data multi-temporal dan multi-sensor citra Landsat.

1970an			1980an			1990an			2000an		
TGL	Tingkat Kecerahan	TSI	TGL	Tingkat Kecerahan	TSI	TGL	Tingkat Kecerahan	TSI	TGL	Tingkat Kecerahan	TSI
0/1072	11,2	32	261981	7,5	35	090790	5,8	39	290101	4,8	38
210873	8,1	35	280882	6,7	36	041293	5,2	37	150701	1,9	57
210676	9,0	34	031082	13,4	29	260197	6,3	32	221002	4,2	42
230878	7,3	35	030589	5,7	35	270899	5,0	44	310302	3,8	41
<b>Rerata</b>	<b>8,9</b>	<b>33,9</b>	<b>Rerata</b>	<b>8,3</b>	<b>33,9</b>	<b>Rerata</b>	<b>5,6</b>	<b>38</b>	<b>Rerata</b>	<b>3,7</b>	<b>44.5</b>

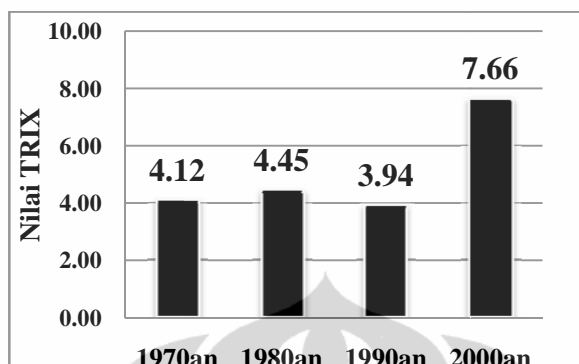
Sama halnya dengan analisa data kecerahan hasil pengukuran lapangan (Lampiran 1.9. dan Gambar 1.7), hasil analisa data citra satelit Landsat juga menunjukkan bahwa proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta terus meningkat secara nyata dari tahun ke tahun.

#### **Analisa Trophical Marine Indeks (TRIX)**

TRIX adalah suatu indek yang digunakan untuk menentukan kondisi trofik di suatu perairan, seperti TSI. Indeks ini telah digunakan sebagai alat pemantauan rutin di Laut Adriatik oleh otoritas Italia. Dalam penelitian ini hanya digunakan satu parameter, yaitu konsentrasi klorofil-a (Lampiran 1.12). Hasil perhitungan rerata nilai TRIX (Gambar 1.13) menunjukkan bahwa pada dekade 1970an hingga 2000an terjadi peningkatan nilai TRIX, yakni dari 4,12 menjadi 7,66. Nilai TRIX berkisar dari 0 –10, di mana nilai > 6 menunjukkan terjadinya eutrofikasi kuat sedang berlangsung.

Pada dekade 2000an nilai TRIX telah mencapai 7,66 yang membuktikan bahwa pada dekade ini proses eutrofikasi kuat sedang berlangsung di perairan Teluk Jakarta. Jadi, dari berbagai analisa (tingkat kecerahan dari data lapangan

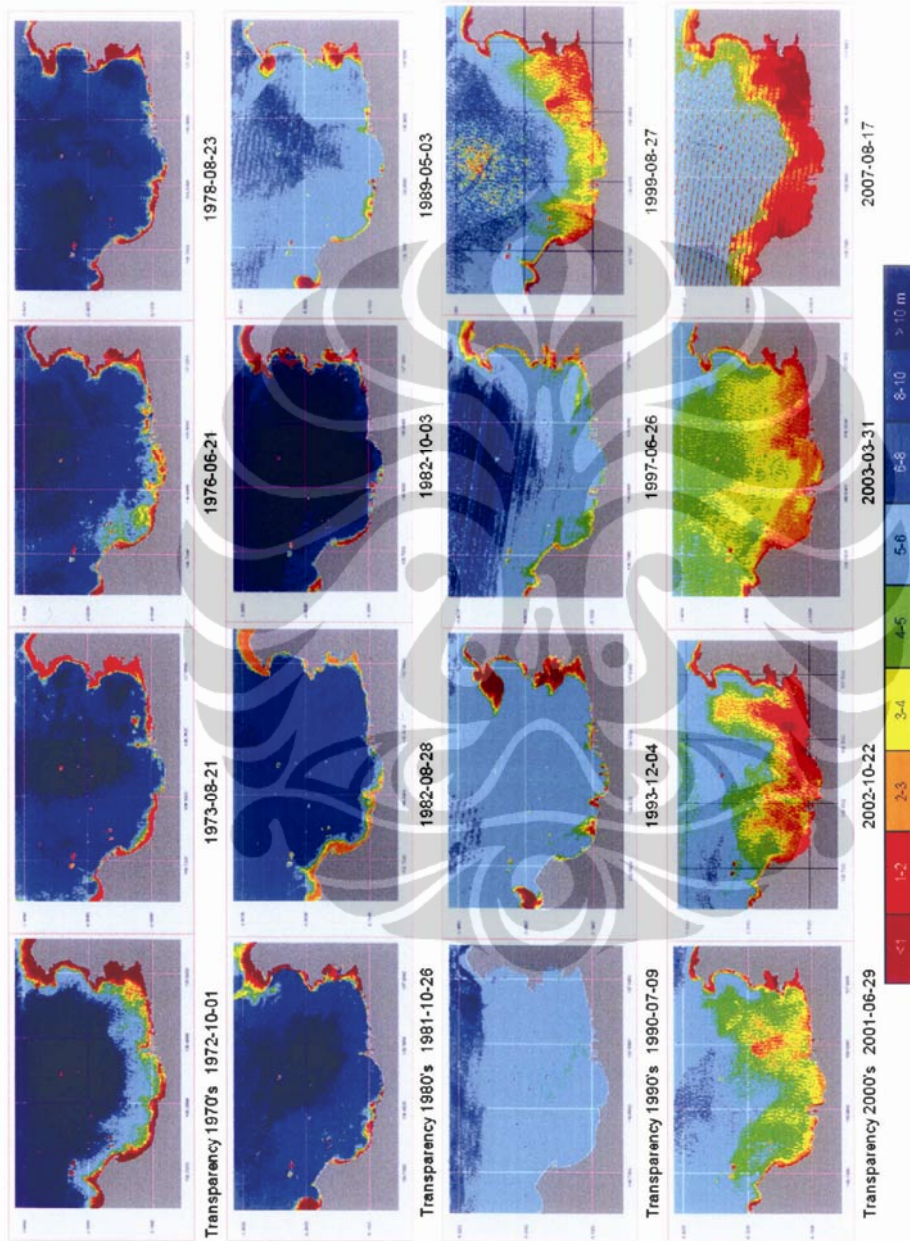
dan data satelit, konsentrasi klorofil-a data lapangan dan nilai TRIX) semuanya menunjukkan sedang berlangsungnya proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta.



Gambar 1.9. Grafik hasil pengukuran TRIX periode 1970an sampai tahun 2000an

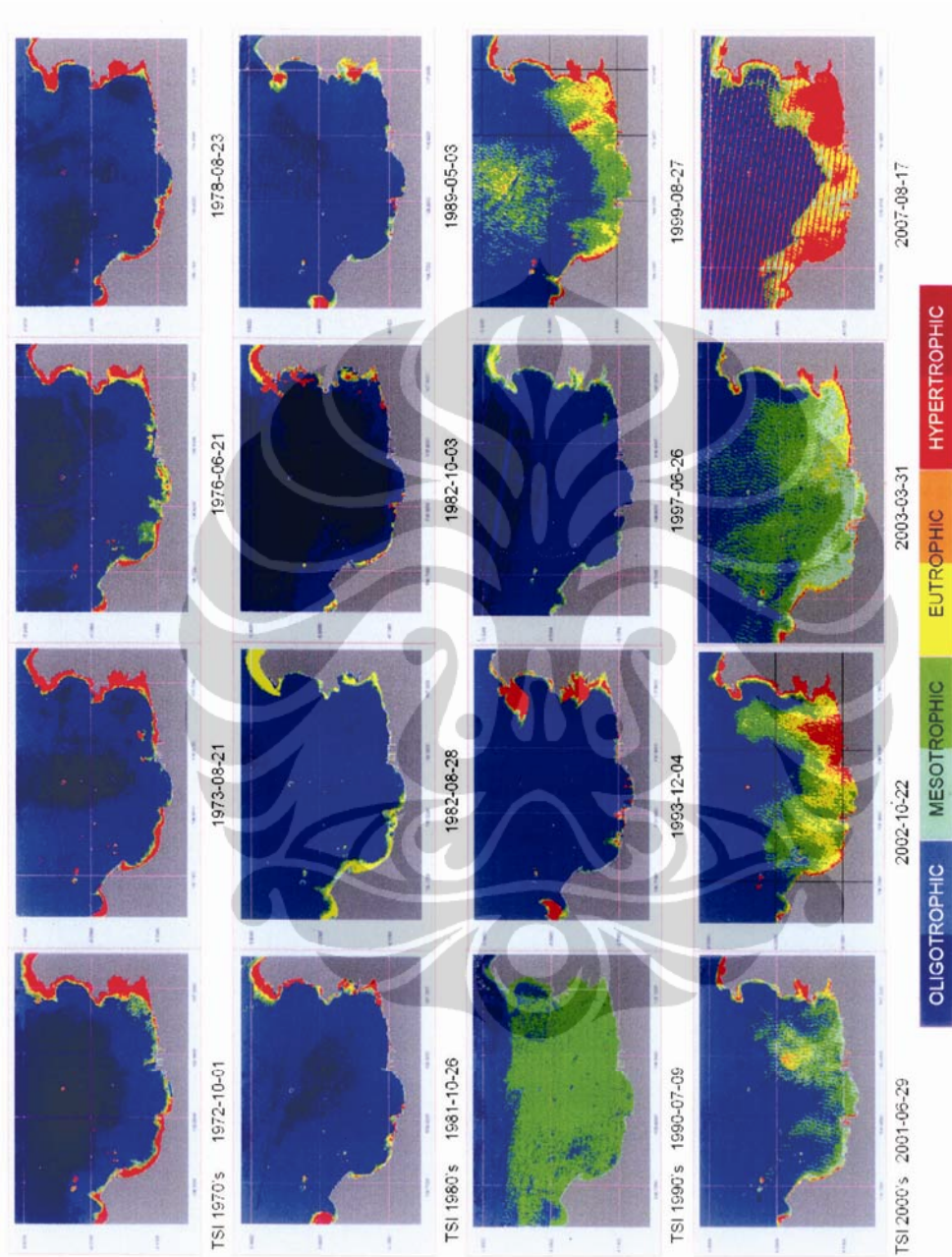
#### **Analisa Proses Eutrofikasi Menggunakan Model ASSETS**

Hasil akhir tampilan yang dimunculkan dari model ASSETS menunjukkan bahwa Indeks Tekanan Pengaruh Manusia (*Overall Human Influence/OHI*) di perairan Teluk Jakarta akan mengalami peningkatan yang cukup tinggi (*Moderate High*). Indeks Status Eutrofikasi (*Overall Eutrophic Condition/OEC*) berdasarkan baik gejala primer maupun sekunder menunjukkan bahwa perairan Teluk Jakarta berada pada kondisi dengan kategori tinggi (*High*). Di masa yang akan datang, Indikator Respon Pengelolaan (*Definition of Future Outlook /DFO*) memperlihatkan bahwa perairan Teluk Jakarta akan berada pada kondisi memburuk yang kuat (*Worsen High*). Keseluruhan pemasukan data dan parameter tersebut (Lampiran 1.6-1.9.), disimpulkan pada Gambar 1.13.

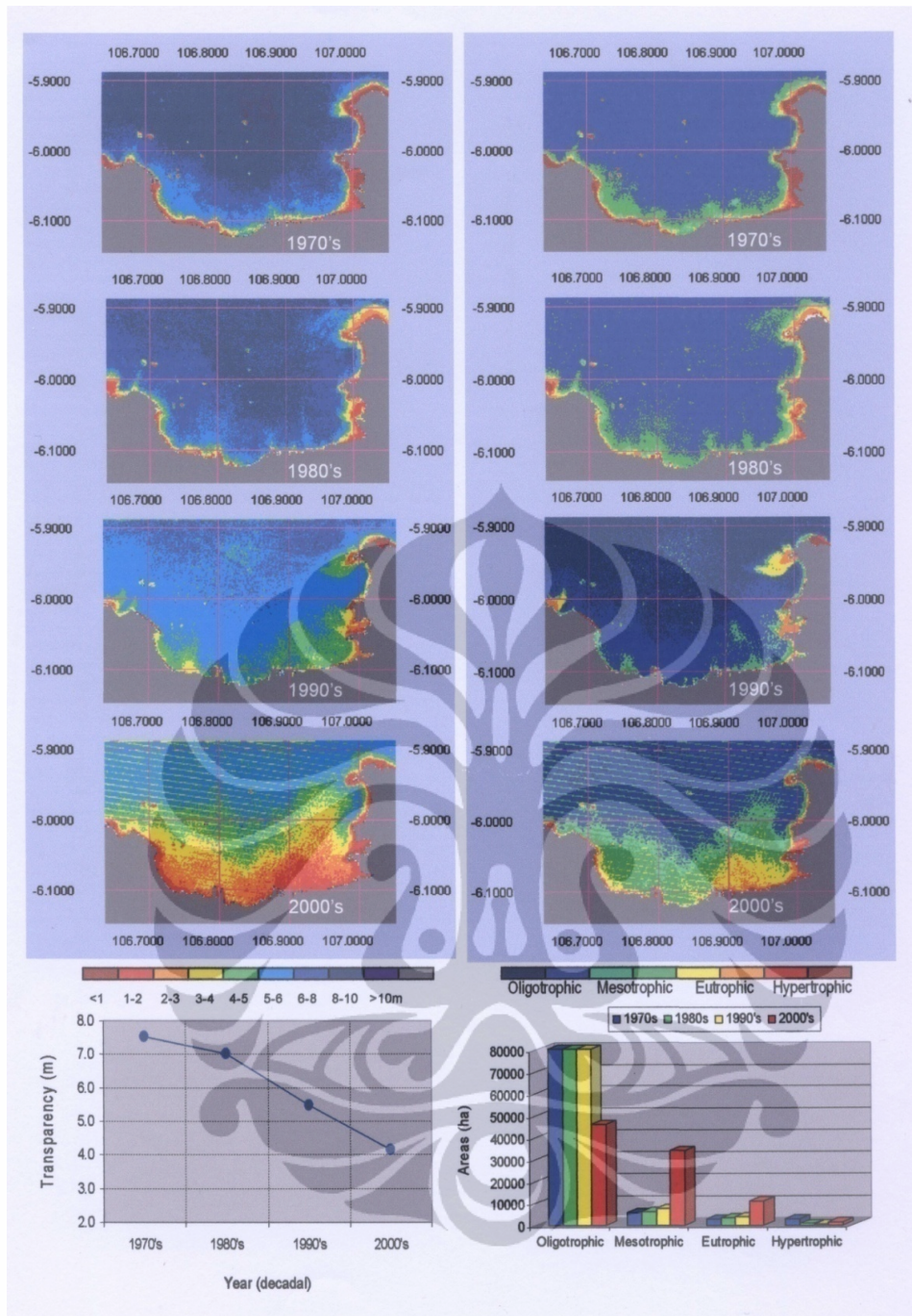


Gambar.1.10. Peta Kecerahan perairan Teluk Jakarta hasil analisa multi temporal dan multi sensor Citra Satelit Landsat 1-3, MSS, Landsat 4,5, TM dan Landsat 7 ETM dari periode 1972 hingga 2007 dengan menggunakan algoritma empiris pada Gambar 1.9.

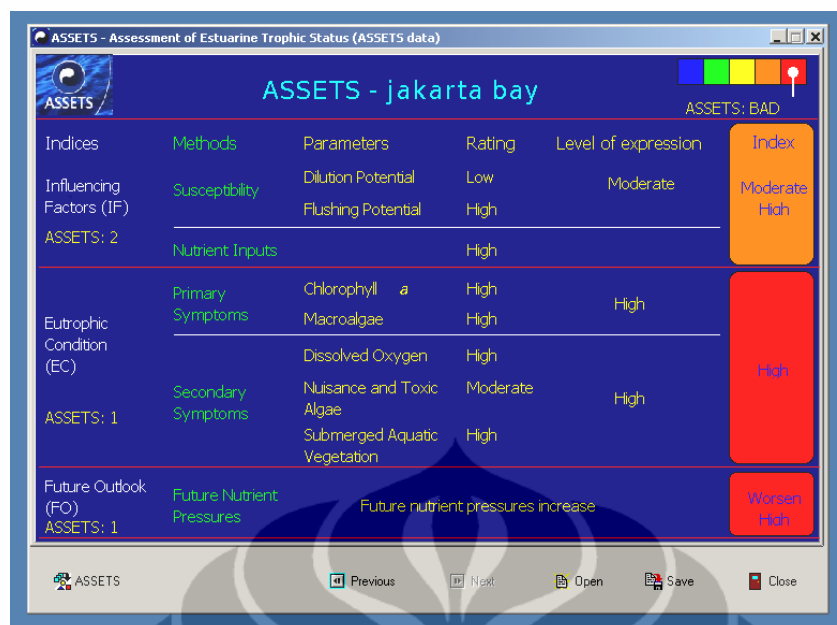




Gambar 1.11. Peta TSI di perairan Teluk Jakarta tahun 1970an - tahun200an



Gambar 1.12. Peta nilai rerata tingkat kecerahan (gambar kiri) dan nilai rerata TSI (gambar kanan atas) serta kondisi tropik (gambar kanan bawah) perairan Teluk Jakarta selama dekade 1970an sampai 2000an.



Gambar 1.13. Hasil akhir model ASSETS

## PEMBAHASAN

Kajian tentang tingkat kecerahan di perairan Teluk Jakarta dalam kurun waktu yang panjang (Tahun 1970an sampai Tahun 2000an) belum pernah dilakukan. Namun dari hasil kajian ini menunjukkan adanya tingkat penurunan kecerahan yang signifikan pada Tahun 2000an, yakni 0,176 m/tahun (lihat Gambar 1.6).

Untuk kandungan klorofil-a, hasil kajian ini menunjukkan peningkatan yang sangat tajam, yakni 1,81 mg/m<sup>3</sup> pada tahun 1970an menjadi 6,78 mg/m<sup>3</sup> pada tahun 2000an (lihat Gambar 1.7). Sementara itu, Afdal & Riyono (2008) mengamati sebaran klorofil perairan Teluk Jakarta pada tahun 2003-2004. Mereka mendapatkan nilai konsentrasi klorofil yang tinggi pada Musim Timur dengan kisaran 7,44 – 119 mg/m<sup>3</sup> dengan nilai rerata 31,37 mg/m<sup>3</sup>, namun pada Musim Barat konsentrasinya klorofil sangat tinggi dengan kisaran antara 26,03 – 234,28 mg/m<sup>3</sup> dengan nilai rerata 78,94 mg/m<sup>3</sup>. Nilai ini 16-26 kali lebih tinggi dibandingkan dengan pengamatan tahun 1993. Kondisi ini mengindikasikan kuat telah terjadinya eutrofikasi perairan Teluk Jakarta pada Musim Barat, khususnya di muara-muara sungai seperti, Sungai Kamal, Sungai Gembong dan Sungai

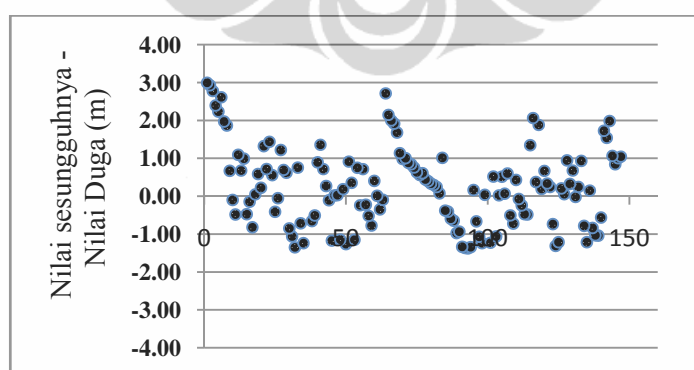


Sunter. Hal ini diduga kuat disebabkan oleh meningkatnya pasokan zat hari yang berasal dari daratan (*domestic waste*).

Dalam penelitian ini, disamping menggunakan data kecerahan perairan dan konsentrasi klorofil-a yang diukur dari lapangan (*insitu/ground truth*) dengan menggunakan sampling yang konvensional, digunakan pula data penginderaan jauh dengan memanfaatkan data citra satelit.

Pengembangan model empiris pendugaan kecerahan perairan untuk Teluk Jakarta menggunakan data multi-temporal menunjukkan bahwa model bebas dari bias ( $R^2 = 0,783$ ; *Root Mean Square (RMS) Error* = 1,01 m;  $F_{hitung} > 4 \times F_{tab}$ ; Draper & Smith, 1981), sehingga dapat digunakan untuk menduga kecerahan perairan. Model kemudian diaplikasikan ke data citra yang lama, sehingga dapat dipetakan transparansi perairan Teluk Jakarta sejak adanya data citra Landsat (1972).

Adapun model empiris yang dapat digunakan untuk pemetaan kecerahan perairan Teluk Jakarta, yaitu bentuk persamaan regresi *Polinomial* orde 3 (Lihat Gambar 1.8 dan Tabel 1.3.). Pada Gambar 1.14. ditampilkan analisa residu persamaan regresi *Polinomial* orde 3 tersebut. Gambar ini memperlihatkan bahwa dengan RMS Error  $\pm 1,01$  m, maka titik-titik pengamatan yang berada dalam kisaran  $\pm 1,01$  m berjumlah 100 titik (67%) dari 147 total data yang digunakan, sedangkan yang diluar kisaran berjumlah 47 titik (33%), sehingga dapat dinyatakan bahwa akurasi dari model ini adalah 67%.



Gambar 1.14. Analisa residu model empiris pendugaan kecerahan perairan Teluk Jakarta

Walaupun sesungguhnya citra satelit Landsat dirancang untuk pengamatan darat, namun penelitian ini menunjukkan bahwa citra satelit Landsat telah lama pula digunakan untuk pengamatan di lingkungan perairan, khususnya untuk pemetaan dan pemantauan kecerahan perairan dan TSI seperti terlihat pada (Lampiran 1.13.). Meskipun demikian, citra Landsat memiliki keterbatasan peliputan (16 hari sekali), apalagi pada daerah-daerah yang memiliki derajat penutupan awan yang tinggi seperti di sebagian besar wilayah Indonesia.

Zhang *et al.* (2002), menggunakan citra Landsat yang kemudian disimulasikan ke citra SeaWiFS, mendapatkan bahwa koefisien korelasi antara kecerahan perairan dan citra SeaWiFS semakin meningkat. Simulasi ini ditujukan untuk meningkatkan kemampuan daya pantau kecerahan perairan, karena citra ini dapat diperoleh dalam basis harian, walaupun resolusi geometrik antara Landsat (30m) dan SeaWiFS (1000m) sangat berbeda. Wu *et al.* (2008), juga menyimpulkan bahwa data Landsat yang disimulasikan ke citra MODIS (1000m) dapat menambah keefektifan pemantauan kecerahan perairan, karena citra MODIS juga diperoleh dalam basis harian.

Jadi, pemantauan eutrofikasi dapat dilakukan secara sederhana dan efisien dengan hanya menggunakan cakram Secchi (*Secchi Disk*), yang kemudian dipetakan menggunakan data multi-temporal citra satelit (Kratzer *et al.*, 2003; Andersen *et al.*, 2006; Doxaran *et al.*, 2009, Hadjimitsis *et al.*, 2010).

Dengan cara ini, kondisi eutrofikasi di masa lampau dan masa kini dapat diketahui, tetapi kondisi eutrofikasi di masa mendatang harus pula dapat diramalkan (*forecast*), dengan menggunakan model-model yang dapat mencapai tujuan tersebut. Beberapa model analisa untuk mengamati proses eutrofikasi telah diaplikasikan di berbagai wilayah perairan di dunia, seperti model yang disajikan pada Lampiran 1.14.

Dampak eutrofikasi juga diperlihatkan oleh Damar (2003) dalam penelitiannya di 3 teluk yang berbeda, yakni Teluk Jakarta, Teluk Lampung dan Teluk Semangka. Dari ketiga teluk tersebut, perairan Teluk Jakarta mengalami eutrofikasi tertinggi. Berdasarkan hasil analisa TRIX, nilai  $> 6$  (kondisi

hipertrofik) dijumpai pada bulan Maret dan November. Nilai TRIX berkisar 4-6 (kondisi eutrofik) dijumpai pada bulan Juni, Agustus, September, Oktober dan Desember. Nilai TRIX berkisar antara 2-4 (kondisi mesotrofik) pada bulan Januari, Februari, April, Mei dan Juli. Berdasarkan data (Damar, 2003) tidak ada 1 bulanpun yang memiliki kondisi oligotrofik. Analisa TRIX pada penelitian ini menunjukkan hasil yang sama dengan Damar (2003), yakni nilai TRIX > 6 (kondisi hipertrofik), namun hasil analisa menggunakan persamaan TSI (Carlson, 1977) yang diturunkan dari data citra satelit Landsat masih dapat dijumpai kondisi oligotrofik di Teluk Jakarta, walaupun sudah bergeser beberapa km menjauhi garis pantai jika dibandingkan dengan dekade 1970an sampai 1990an (Lihat Gambar 1.11).

Penghitungan nilai TRIX yang digunakan oleh Damar (2003), berdasarkan empat parameter, yaitu klorofil-a, kandungan oksigen yang saturasi, total nitrogen (TN) dan total fosfat (TP). Pada penelitian ini, data oksigen yang saturasi, TN dan TP tidak ada, sehingga hanya digunakan satu parameter saja, tetapi hasil penelitian menunjukkan relatif tidak berbeda. Oleh karena itu, analisa TRIX dengan menggunakan satu parameter, yaitu klorofil saja tampaknya cukup baik untuk digunakan sebagai alat untuk monitoring eutrofikasi (Ærtebjerg *et al.*, 2001).

Salas *et al.* (2008) telah menganalisa kemampuan TRIX untuk monitoring kondisi eutrofik di perairan Lagoon Mar Menor (Spanyol) dan Mondego (Portugis) dengan kesimpulan bahwasanya TRIX dapat digunakan untuk tujuan tersebut. Geovarnadi & Vollenwieder (2004) juga telah menggunakan TRIX untuk mengamati kondisi trofik perairan pantai di Laut Adriatic dan Laut Tyrrhenian. Jadi, kedepan TRIX bersama TSI dapat digunakan untuk analisa dan monitoring kondisi eutrofikasi di suatu perairan, tetapi kedua model indeks ini hanya dapat memberikan informasi proses eutrofikasi sesaat (*in situ*), sehingga sulit digunakan sebagai alat untuk menduga proses eutrofikasi di masa mendatang.

Untuk mengkaji lebih dalam, kajian ini menggunakan model ASSETS, yang dikembangkan oleh Bricker *et al.* (2003). Model ini telah digunakan di 144 wilayah pesisir Amerika, Eropa dan Asia. Konsep model ini terus diperbaiki,

dikembangkan dan dimanfaatkan untuk pemantauan eutrofikasi di perairan Amerika dan Eropa, di mana pendekatannya dilakukan melalui teknik pemodelan sederhana dengan membandingkan adanya pasokan nutrisi antropogenik (*antrophogenic nutrient*).

Digunakannya model ASSETS dalam kajian ini karena model ini lebih sederhana, disamping parameter-parameter yang harus diisikan ke dalam model tersedia datanya. Xiao *et al.* (2007) mengkaji eutrofikasi di wilayah pesisir Changjian (Yangtze) dan Teluk Jaiozhou, China, dengan menggunakan berbagai model pendugaan eutrofikasi (Tabel 1.6) berkesimpulan bahwa dari semua model yang digunakan ternyata model ASSETS merupakan model yang paling menjanjikan untuk evaluasi status eutrofikasi perairan, sama seperti dalam kajian ini.

Hasil kajian dengan berbagai model pendekatan yang ada, proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta juga sudah terbukti telah berlangsung selama 3 dekade belakangan ini yang menunjukkan indikasi bahwa eutrofikasi akan lebih memburuk di masa yang akan datang disebabkan oleh meningkatnya jumlah penduduk di sekitar daerah Jakarta dan kota-kota penyangganya, seperti Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi (Wilayah JADOBETABEK) dan adanya penggunaan tata guna lahan yang tidak sesuai dengan rencana tata ruang kota. Kondisi ini semakin diperburuk oleh adanya muatan limbah yang berasal dari 13 sungai yang bermuara di perairan Teluk Jakarta. Nampaknya, muatan limbah dari industri dan kegiatan pertanian memperkaya nutrisi yang masuk ke dalam perairan Teluk Jakarta. Gejala ini disebut sebagai eutrofikasi antropogenik (Cruzado 1988).

Wilayah Jakarta dan kota-kota penyangganya merupakan daerah yang berpenduduk sangat padat dengan jumlah penduduk lebih dari 20 juta orang dan pesatnya laju pembangunan lahan memberikan tekanan yang tinggi terhadap Teluk Jakarta, seperti pencemaran yang merupakan salah satu parameter terjadinya eutrofikasi. Bila perubahan tersebut di atas dapat dideteksi sejak awal dan menimbulkan kerusakan maka hal ini merupakan suatu bentuk pencemaran (Perez *et al.* 2003). Untuk itu diperlukan suatu metode yang dapat

digunakan sebagai alat yang dapat mengamati secara terus-menerus, meluas dan konsisten (Hu *et al.* 2004).

Arifin (2003), juga telah menekankan adanya indikasi eutrofikasi seperti, peningkatan zat hara 2-3 kali lipat antara dekade 1970an ke 2000an ( $\text{PO}_4$  dari  $< 1$  ke  $2,24 \text{ } \mu\text{g at/L}$ .  $\text{NO}_3$  dari  $<1$  menjadi  $3,53 \text{ } \mu\text{g at/L}$ ). Demikian pula dengan keanekaragaman jenis ikan, di mana ikan yang tertangkap dengan jaring insang (gill net) pada dekade 1970an berkisar 44 jenis, sedangkan yang tertangkap dengan pukat harimau (trawl) berkisar 198 jenis. Keanekaragaman jenis ikan tersebut berkurang lebih dari 50% menjadi hanya masing-masing 21 jenis dan 88 jenis pada dekade 2000an. Hal lainnya adalah seringnya terjadi peledakan populasi mikroalga/fitoplankton (Algal Blooms) dengan luasan area yang juga meningkat (hal ini akan dibahas khusus pada BAB 2).

Walaupun tidak ada penurunan luasan tanaman air (SAV), namun dari hasil pengamatan P2O-LIPI dan UNESCO, terlihat adanya penurunan tutupan karang hidup pada pulau-pulau yang terletak di dalam Teluk Jakarta dari 30% pada dekade 1980an menjadi 5% pada dekade 1990an. Monitoring selanjutnya yang dilakukan pada tahun 2005 antara peneliti P2O-LIPI dengan peneliti Belanda menunjukkan penurunan tutupan karang hidup sudah semakin berkurang mendekati 0% (unpublished report- Abrar, 2007 komunikasi pribadi). Salah satu penyebab turunnya tutupan karang hidup di Teluk Jakarta adalah karena berkurangnya tingkat kecerahan perairan yang tajam akibat eutrofikasi, seperti yang ditunjukkan dari penelitian ini.

Proses eutrofikasi sebenarnya menguntungkan bagi sektor perikanan, karena perairan menjadi produktif dan subur (Coelho *et al.*, 2004), namun pasokan zat hara yang sangat berlebih menyebabkan dampak negatif berupa menurunnya kualitas lingkungan perairan (Gruau *et al.*, 2005) yang mengakibatkan keanekaragaman jenis ikan berkurang (Arifin, 2003). Lebih lanjut, di sektor perikanan, dampak eutrofikasi sudah terasa dengan menurunnya produksi hasil perikanan tangkap di perairan Teluk Jakarta dari 35008 ton pada tahun 1999 menjadi 28526 ton di tahun 2000, dan menurun lagi menjadi 17829 ton di tahun 2002 (DP2K-DKI, 2003).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan, bahwa:

1. Model empiris yang dikembangkan dalam kajian ini dapat digunakan untuk pendugaan kecerahan perairan Teluk Jakarta secara efektif dan efisien dengan memanfaatkan data multi-temporal dan multi-sensor citra satelit Landsat.
2. Pada dekade 1970an sampai 1990an tidak tampak perubahan yang mencolok, namun meningkat secara drastis di dekade 2000an. Hal ini diperkuat pula dengan analisa Indeks TRIX yang memperlihatkan bahwa proses eutrofikasi yang kuat sedang berlangsung di perairan Teluk Jakarta.
3. Hasil kondisi eutrofikasi di masa depan dikaji dengan menggunakan model ASSETS memperlihatkan bahwa kedepan kondisi perairan Teluk Jakarta akan semakin memburuk dan intensitas eutrofikasinya akan semakin menguat.

### B. Saran

1. Kondisi perairan Teluk Jakarta, perlu terus dipantau secara konsisten dan berkelanjutan. Pemantaun dapat dilakukan secara sangat sederhana, yaitu dengan menggunakan cakram Secchi (*Secchi Disk*) yang dikombinasikan dengan data satelit penginderaan jauh yang tersedia (*remote sensing*).
2. Status eutrofikasi perairan Teluk Jakarta di masa mendatang, harus terus dipantau menggunakan model ASSETS. Hasil kajian dapat disampaikan kepada pengambil keputusan/perencana untuk mengelola kualitas perairan Teluk Jakarta.
3. Pemerintah perlu menunjuk suatu Lembaga/Institusi yang secara terus menerus dan konsisten memantau dan mengevaluai kualitas dan kondisi perairan teluk Jakarta. Oleh karenanya jaringan kerjasama antar Lembaga/Instusi yang terkait perlu pula segera dibuat dan dilaksanakan.

4. Program pemantauan jangka panjang (*Long Term Monitoring*) kondisi perairan perairan Teluk Jakarta, harus dilakukan secara konsisten dan berkelanjutan oleh pemerintah.
5. Kondisi eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta yang terus meningkat harus dilakukan upaya pengelolaan terpadu dengan meningkatkan kepedulian masyarakat akan pentingnya budaya ramah lingkungan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada: Kementerian Negara Riset dan Teknologi yang telah memberikan beasiswa untuk melanjutkan studi program S-3 di FMIPA-UI. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Dr. Idwan Suhardi (Deputi Pendayagunaan Iptek), Ir. Kemal Prihatman, M.Eng., yang telah memberikan izin selama menyelesaikan studi ini. Tak lupa kami ucapkan pula terima kasih sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Sam Wouthuyzen, MSc., dari P2O-LIPI yang telah mengizinkan penggunaan data lapangan dan data citra satelit dalam penelitian ini. Demikian pula kepada rekan-rekan teknisi (saudara Izaak Nikijuluw, Johannes Lakalet, Salim Picalohata, dan Abdulah Salatalohy) yang telah membantu pekerjaan di lapangan.

## DAFTAR ACUAN

- Afdal & S. H. Priyono. 2008. Sebaran Klorofil-a dan Hubungannya Dengan Eutrofikasi Di Perairan Teluk Jakarta. *OLDI* 34 (3): 333-351.
- Andersen, J.H. & Conley, D.J. 2009. Eutrophication in coastal marine ecosystems: towards better understanding and management strategies. *Hydrobiologia* 62:1-4.
- Andersen, J.H, Schlüter, L & Ærtebjerg, G. 2006. Coastal eutrophication: Recent development in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal Plankton Research* 26(3): 257.
- Arifin, Z., T. Susana, P. Purwanti, R. Muchsin, D. Hindarti, S. Hadi Riyono, A. Rozak, E. Matondang, & N. Farida. 2003. *Ekosistem Teluk Jakarta dan Produktivitas*. Draft laporan riset kompetitif Jabopunjur. P2O-LIPI.
- Arifin, Z. 2004. Local Millennium Ecosystem Assessment: Condition and Trends of the Greater Jakarta Bay Ecosystem. *Research Center of Oceanography-LIPI. The Ministry of Environment, Republic of Indonesia*, Jakarta:30 pp.

- Arifin, Z. 2004. Trace metals and nutrient pollution monitoring in Jakarta Bay. *International Conf. Of Marine Pollution and Ecotoxicology*. June 1-5, 2004.
- Bachman, R. W, Cloern, J.E, Heckey, R.E. (eds.). 2006. Eutrophication of freshwater and marine ecosystem. *Limnology Oceanography* **51**(1): 351-800.
- Bonsdorff, E., E.M. Blomqvist, J. Matilla & A. Norkko. National Estuarine Eutrophication Assessment 1997. Coastal eutrophication: causes, consequences and perspectives in the Archipelago areas of the northern Baltic Sea. *Estuarine Coastal Shelf Science* **44**:63-72.
- Bricker, S. B., C.G. Clement, D.E.Pirhalla, S.P. Orlando dan D.R.G. Farrow. 1999. National Estuarine Eutrophication Assessment. Effect of nutrient enrichment in the nation s estuaries. U.S. *Department of Commerce, NOAA*:84 pp.
- Bricker, S.B., Ferreira, J.G. & Simas, T. 2003. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecology Modelling* **169**: 39-60.
- Bricker, S., B. Longstaff, W. Dennison, A. Jones, K. Boicourt, C. Wicks, & J. Woerner. 2007. Effects of Nutrient Enrichment In the Nation's Estuaries: A Decade of Change. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 26. *National Centers for Coastal Ocean Science, Silver Spring, MD*: 328 pp.
- Bricker, S. B, Ferreira, J.G. & Pastres, R. 2007. Eutrophication Assessment using ASSETS Approach, Application and and Results. *Venice Water Authority Meeting Exploring possibilities for collaborative work. December 3rd 2007*.
- Carlson, R.E. & J. Simpson. 1996. A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. North American Lake Management Society. 96p.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state indeks for lake. *Limnology Oceanography*. **22**: 361-369.
- Chavez, P.S. 1996. Image-based atmospheric corrections revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **62**: 1025-1036.
- Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Program Service* **210**: 223-253.
- Coelho, J.P., M.R. Flindtb, H.S. Jensenb, A.I. Lillebøa, & M.A. Pardala. 2004. Phosphorus speciation and availability in intertidal sediments of a temperate estuary: relation to eutrophication and annual P-fluxes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **61**: 583-590.
- Cohen, W.B. & S.N. Goward. 2004. Landsat's role in ecological applications of remote sensing. *Bioscience* **5** (6): 535-545.
- Conley, D.J., S. Markager & J. Andersen. 2002. Coastal eutrophication and the Danish National Aquatic Monitoring Assessment Program. *Estuaries* **25**: 706-719.
- Cruzado, A. 1987. Eutrophication in the Mediterranean Seas. *UNESCO Report & Proc. Scientific Workshop. Bologna, Italy 2-6 March*, 57-66.



- Cruzado, A. 1988. Eutrophication in the pelagic environment and its assessment. *UNESCO Reports in Marine Sciences* No. 49:57-66.
- Dahuri, R. 1999. Coastal zone management in Indonesia: Issues and approaches. In: Rais, J., I.M. Dutton, L. Patntimena, J. Plouffe, & Dahuri (eds). *Integrated coastal marine resources management. Proceeding International Symposium, 25-27 Nov. 1997*, Batu, Malang: 66-72p.
- Damar, A. 2003. Effect on enrichment on nutrient dynamics, phytoplankton dynamics and productivity in Indonesian tropical waters: a comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay. Dissertation. Kiel. Germany.
- Doxaran, D., J.M. Froidefond, P. Castaing & M. Babin. 2009. Dynamics of turbidity maximum zone in a macrotidal estuary (The Gironde, France): Observations from field and MODIS satellite data. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.* **81**: 321-332.
- DP2K-DKI. 2003. Analisa efisiensi armada perikanan. Dinas peternakan, perikanan dan Kelautan (DP2K), Prov. DKI-Jakarta, Jakarta 42p.
- Draper, N., & Smith H. 1981. Applied regression analysis-A research tool (2<sup>nd</sup> ed.1981), New York: xviii+657 pp.
- Elemgren, R. 2001. Understanding human impact on the Baltic ecosystem: changing view in recent decades. *Ambio* **30**: 222-231.
- Ferreira, J.G., T. Simas, A. Nobre, M.C. Silva, K. Schiffrerger, & J. Lencart-Silva. 2003. Identification of Sensitive Areas and Vulnerable Zones In Transitional and Coastal Portuguese Systems. Application of the United States National Estuarine Eutrophication Assessment to the Minho, Lima, Douro, Ria de Aveiro, Mondego, Tagus, Sado, Mira, Ria Formosa and Guadiana systems., INAG/IMAR.
- Feuerpfeil, P., T. Rieling, S.R. Estrum-Youseff, J. Dehmlow, T. Papenfuß, A. Schoor, U. Schiewer & H. Schubert. 2004. Carbon budget and pelagic community compositions at two coastal areas that differ in their degree of eutrophication, in the Southern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **61**: 89-100.
- Giovanardi, F., & Vollenweider R. A. 2004. Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Indeks TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *Journal of Limnology* **63**: 199-218.
- Gillbricht, M. 1988. Phytoplankton and nutrients in the Helgoland region. *Helgolander Meeresuntersuchungen* **42**:435-467.
- Gruau, G., M. le Geas, C. Rioua, E. Gallaciere, F. Martineau & O. He'nina, 2005. The oxygen isotope composition of dissolved anthropogenic phosphates: a new tool for eutrophication research. *Water Research* **39**: 232-238.
- Hadjimitsis, D.G., C.R.I. Clayton & L. Taulios. 2009. A new method for assessing the trophic state of large dams in Cyprus using satellite remotely sensed data. *Water and Environ J.* **24** (3): 200-207.
- Hodgkin, E.P. & Birch, E.P. 1982. Eutrophication of a Western Australia estuary. *Oceanology Acta*. SP:313-318.

- Hodgkin, E.P. & Hamilton, B.H. 1993. Fertilizers and eutrophication in southwestern Australia: setting the scene. *Fertilizer Research* **35**:95-103.
- Joint, I., J. Lewis, J. Aiken, R. Proctor, G. Moore, W. Higman & Donald, M. 1997. Interannual variability of PSP (paralytic shellfish poisoning) outbreak on the northeast UK coast. *Journal Plankton Research* **19**:937-956.
- Jørgensen, B.B & Richardson, K (eds.). 1996. Eutrophication in coastal marine ecosystems. *Coastal and Estuarine Studies* **52**:115-135.
- Kabbara, N, J. Benkhalli, Mohammad Awad, dan Vittorio Barate. 2008. Monitoring water quality in the coastal area of Tripoli (Lebanon) using high-resolution satellite data. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **63** (5): 469-495.
- Kelly, M. & M. Naguib. 1984. Eutrophication in the coastal marine areas and lagoons: A case study of 'Lake of Tunis'. *UNESCO Reports in Marine Science* **29**:55pp.
- Kelly, M. & M. Naguib. 1989. Eutrophication in coastal marine areas lagoon: A case study of Lac de Tunix. *UNESCO Report in Marine Science* **59**:53pp.
- Kratzer, S., B. Hakansson & C. Sahlin. 2003. Assessing secchi and euphotic zone depth in the Baltic Sea from satellite data. *Ambio* **32**(8):577-585.
- Lathroph, R.G. & Lillesand, T.M. 1986. Use of Thematic Mapper to assess water quality in Green Bay and Central Lake Michigan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **52**(5):671-680.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1975. *Laporan Tahunan 1975*. Lembaga Oseanologi Nasional, Jakarta: 365 hal.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1976. *Laporan Tahunan 1976*:371 hal.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1976a. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 1 di Teluk Jakarta, 25 - 27 Nopember 1975*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta: 32-41.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1976b. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No 2 di Teluk Jakarta, 21-23 Januari 1976*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON -LIPI, Jakarta:31-42.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1976c. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 3 di Teluk Jakarta, 12-15 Mei 1976*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON -LIPI, Jakarta:32-41.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1976d. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 3 di Teluk Jakarta, 10- 12Agustus 1976*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON -LIPI, Jakarta: 32-40.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1977. *Laporan Tahunan 1977*: 326 hal.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1977a. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 6 di Teluk Jakarta, 26 - 29 Januari 1977*. Proyek Penelitian Masalah

- Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON -LIPI, Jakarta, 42-49.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1977b. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 7 di Teluk Jakarta, 11-14 Mei 1977*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta:48-56.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1977c. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 8 di Teluk Jakarta, 10-13 Agustus 1977*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta:49-57.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1977d. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 9 di Teluk Jakarta, 26 - 29 November 1977*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta:47-55.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1978a. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 10 di Teluk Jakarta, 17 - 20 Januari 1978*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta:43-48.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1978b. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 11 di Teluk Jakarta, 19 - 21 Mei 1978*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta 40-48.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1979a. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 12 di Teluk Jakarta, 26 - 29 Agustus 1978*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta: 37-45.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1979b. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 14 di Teluk Jakarta, 6 - 8 Nopember 1978*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta: 34-42.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1979c. *Laporan Pelayaran KM. Samudera No. 15 di Teluk Jakarta, 8-11 Januari 1979*. Proyek Penelitian Masalah Pengembangan Sumber Daya Laut dan Pencemaran Laut, LON - LIPI, Jakarta:36-44.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1985. *Laporan Tahunan Periode April 1984 sampai dengan Maret 1985*.LON - LIPI, Jakarta: 267 hal.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1987. *Laporan Tahunan Periode April 1986 sampai dengan Maret 1987*.LON - LIPI, Jakarta: 34 hal.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 1993. *Estuarine Teluk Jakarta. Proyek Inventarisasi dan Evaluasi Potensi Laut dan Pesisir*.LON - LIPI, Jakarta: 99 hal.
- Lembaga Oseanologi Nasional. 2004. *Ekosistem dan produktivitas Perairan Teluk Jakarta dan Sekitarnya. Progres report*. P2O - LIPI, Jakarta: 30 hal.

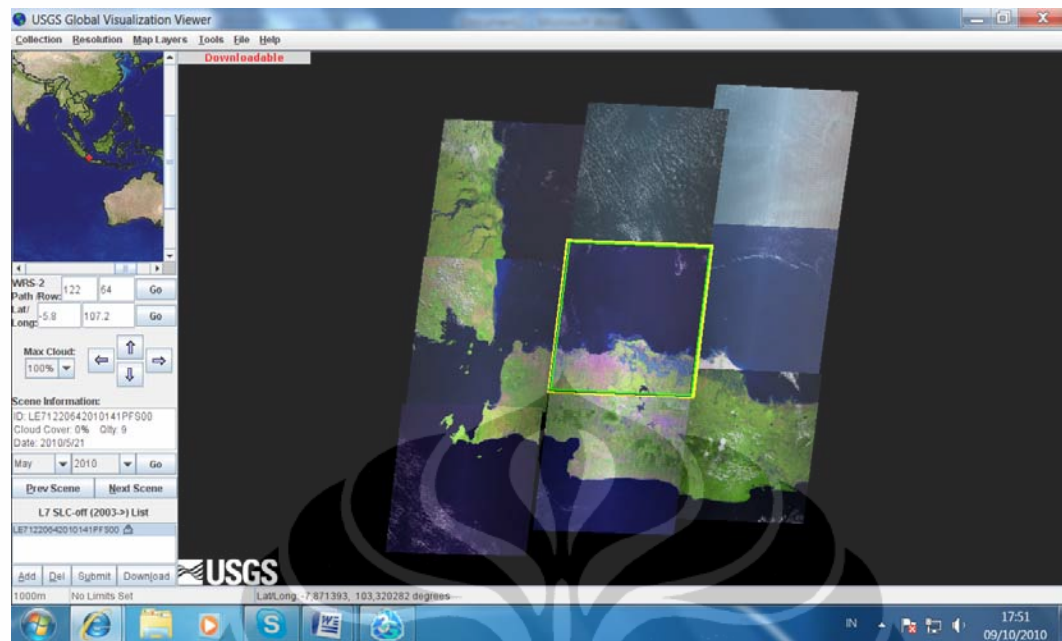
- Lin, R. 1996. Review of assessing methods for coastal eutrophication. *Marine Env. Sci.* **15**:28-31.
- Metternicht, G. 2001. Assessing tempoal and spatial changes of salinity using fuzzy logic, remote sensing and GIS. Foundation of an Expert System. *Ecological Modelling* **144**:163-179.
- Nixon, S.W. & Pilson, M.E.Q. 1983. Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystem. In: Carpenter, E.J., Capone, D.G. (eds.). *Nitrogen in the Marine Environment*. Academic Press, New York:565-648
- Nixon, S.W. 1995. Coastal Marine eutrophication: A definition, social causes, and the future concern. *Ophelia* **41**:199-219.
- Nobre, A.M., J.G. Ferreira, A. Newton, T. Simas, J.D. Icely, dan R. Neves, 2005. Management of coastal eutrophication: Integration of field data, ecosystem-scale simulations and screening models. *Jour. of Mar. Syst.* **56**: 375-390.
- Nobre, A.M. dan Ferreira, J.G. (2009). Integration of ecosystem-based tools to support coastal zone management. *Journal of Coastal. Research*. Proceeding of the 100th International Coastal Symposium, pg-pg, Lisbon, Portugal, ISBN.
- NontjiI, A. 1978. Variasi musiman beberapa faktor ekologi di perairan Teluk Jakarta. *Oseanologi di Indonesia* **11**: 27-36
- Nontji, A. 1984. Biomass dan produktivitas fitoplankton di perairan Teluk Jakarta serta kaitannya dengan faktor-faktor lingkungan. *Fakultas Pasca Sarjana - Institut Pertanian Bogor*, Bogor:241 pp.
- OSPAR. 2001. Draft common assessment criteria and their application within the comparative procedure of the common procedure. *Meeting of the Eutrophication Task Group (ETG), London 9-11 October 2001 ed. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. OSPAR Commission, London.*
- OSPAR. 2003. OSPAR Integrated Report 2003 On The Eutrophication Status of The OSPAR Maritime Area Based Upon the First Application of the comprehensive procedure. OSPAR Commission, London-UK. <http://www.ospar.org>.
- Parinet, B. Lhotte & B. Legure. 2004. Pricinpal Component Analysis: An Appropriate Tools for Water Quality Evaluation and Management- Application to a tropical lakes system. *Ecological Modelling* **178**: 295-311.
- Prabowo, H., Suprpto, H. dan Oswari, T. (2008). Environmental degradation and fisherman livelihoods in Jakarta Coastal Area. [Http://iasc2008.glos.ac.uk/conference%20papers/.../P/Prabowo\\_210302.pdf](http://iasc2008.glos.ac.uk/conference%20papers/.../P/Prabowo_210302.pdf).
- Ritchie, J.R. & C.M. Cooper. 1987. Comparison of Landsat MSS array sizes for estimating water quality. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **53** (11):1549-1553.
- Rönnerberg, C & E. Bonsdorff. 2004. Baltic sea eutrophication: area-specific ecological consequences. *Hydrobiologia* **514**: 227-241.
- Rosenberg, R. 1985. Eutrophication-the future marine coastal nuisance?. *Marine Pollution Bullein* **16**(16): 227-233.

- Ryther, J.H. & W.M. Dunstan. 1971. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science* **171**:1008-1013.
- Salas, F., H. Teixeira, C. Marcos, J.C. Marquez & A.P. Ruzafa. 2008. Applicability of the trophic indeks TRIX in two transitional ecosystems: The Mar Menor Lagoon (Spain) and The Mondego estuary (Portugal). *ICES J.of Mar. Sci.* **65**: 1442-1448.
- SCIRUS. 2007. Scientific Research Website. Amsterdam. The Netherlands. [Http://www.scirus.com](http://www.scirus.com).
- Sediadi, A. S. Wouthuyzen, J. Supriatna, & O.K. Sumadhiharga. 2009. Long Term Monitoring on Jakarta Bay Water Eutrophication using Landsat Satellite Data. *Paper on UKM-UI Joint Seminar 2009*, Kuala Lumpur:8pp.
- Selman, M. & S. Greenhalgh. 2009. Eutrophication: Sources and drivers of nutrient pollution. *WRI. Policy Note No.1, June. 2009*.
- Selman, M., S. Greenhalgh, R. Diaz & Z.Sugg. 2008. Eutrophication and hypoxia in coastal areas: A global assessment of the state of knowledge. *WRI. Policy Note No.1, March. 2008*.
- Stirn, J. 1988. Eutrophication in the Meditteranian Seas. *UNESCO Reports on Marine Science*, **49**:161-187.
- Strickland, J.D.H. & T.R.Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fishery Research Board Canada Bulletin*, **167**:311pp.
- UNEP. 2006. Challenges to International Waters – Regional Assessments in a Global Perspective. Nairobi, Kenya: United Nations.
- USGS. 1984. Landsat 4 data user Hand Book, USGS & NOAA.
- USGS. 2007. Predicting water quality by relating Secchi-Disk Transparency and chlorophyll-a a Measurement to Landsat Saellite Imagery for Michigan Inland Lake, 2001-2006, [http://www. Mi.water.usgs-gov/splan1/sp00301/remotesensing.php](http://www.Mi.water.usgs.gov/splan1/sp00301/remotesensing.php).
- USEPA. 2005. National coastal condition report II. USEPA. Washington, DC.
- Vollenweider, R.A. 1992. Coastal marine eutrophication: principles and control. *Science Total Environment*, (Supl.):1-21.
- Wouthuyzen, S. 1991. Analysis of the potential utility of remote sensing data aquaired from earth observations satellites for monitoring the coastal zone environment. *Doctoral dissertation graduate school of marine science and engineering, Nagasaki University*, Nagasaki: 158p.
- Wouthuyzen, S. 2004. Pemetaan dan monitoring kualitas perairan Teluk Jakarta sebagai muara akhir DAS Jabopunjur dengan menggunakan multi-temporal dan multi-sensor data citra satelit. Laporan Akhir Proyek Kompetitif Jabopunjur, Jakarta: 88 hal.
- Wouthuyzen, S. 2005. Pemetaan dan monitoring kualitas perairan Teluk Jakarta sebagai muara akhir DAS Jabopunjur dengan menggunakan multi-temporal dan multi-sensor data citra satelit. Laporan Akhir Proyek Kompetitif Jabopunjur, Jakarta: 111 hal.

- Wouthuyzen, S. 2006. Mapping and Monitoring Water Quality of Jakarta Bay as the end of DAS JABOPUNCUR using Multi-Sensor and Multi-Temporal Satellite Image Data. *Report of 2004-2006 P2O-LIP*, Jakarta: 84 pp.
- Wouthuyzen, S. 2006. Peta kualitas perairan Teluk Jakarta (konsentrasi klorofil-a. Proyek Kompetitif LIPI, Jakarta: 61 hal.
- Wouthuyzen, S. 2007. Early Warning Detection of Harmful Algal Blooms/HAB in Jakarta Bay and its Surrounding. *Yearly Report. P20-LIPI. Jakarta. (In Indonesia)*.
- Wu, G.G, J. de Leeuw, A.K. Skidmore, H.H.T. Prins, & Y. Liu. 2008. Comparison of MODIS and Landsat TMS images for mapping tempo-spatial dynamics of Secchi disk depth in Poyang Lake National Nature Reserve, China. *International Journal of Remote Sensing* **29** (8):2183-2198
- Xiao, Y. J.G., J.G. Ferrera, S.B. Bricker, J.P. Nunes, M.Y. Zhu & Ex. Jhang. 2007. Trophic Assessment in Chinese Coastal Systems-Review of Methods and Applicatin to the Changjiang (Yangtze) Estuary and Jiazhou Bay. *Estuarine and Coasts* **30**( 6): 901-918.
- Zang, Y., J. Pullainen, S. Koponen, M. Hallikainen. 2002. A semi-empirical algorithm of water transparency at the green wavelength band of optical remote sensing. *Progress in Electromagnetics Research* **37**: 193-203
- Zou, J., I. Dong & B.Qin. 1985. Preliminary studies on eutrophication and red tide problems in Bohay Bay. *Hydrobiologia* **127**: 27-30.



## Lampiran. 1.1. Teknik pengunduhan data citra satelit Landsat-7 ETM+





Lampiran 1.2. Informasi geografis perairan Teluk Jakarta yang harus di input pada model ASSETS.

ASSETS - Assessment of Estuarine Trophic Status (ASSETS data)

**ASSETS** Assessment of Estuarine Trophic Status

**INTRODUCTION**

Welcome to the ASSETS site, built in cooperation between NOAA and IMAR. ASSETS stands for Assessment of Estuarine Trophic Status, and builds on the U.S. National Estuarine Eutrophication Assessment (NEEA) developed by NOAA.

All users have access to information about the approach used in ASSETS, and to the results obtained for the various estuaries. Additionally, you can use this application to make your own assessment, and load or save your results. Click [here](#) to become a registered user so you can add your system to the ASSETS list.

System details [U.S. units](#)

Name:

Latitude:    North

Longitude:    West

System description:

Estuary or fjord

Coastal bay

Coastal lagoon

Salinity zones:

Tidal freshwater (<0.5 psu)

Mixing (0.5-25 psu)

Seawater (>25 psu)  km<sup>2</sup>

ASSETS Previous Next Open Save Close

Lampiran 1.3. Informasi tentang tekanan lingkungan di perairan Teluk Jakarta yang harus di input pada model ASSETS.

ASSETS - Assessment of Estuarine Trophic Status (ASSETS data)

Healthy ecosystem Eutrophic ecosystem

**Influencing Factors (Pressure)**

Loading:

Use estuarine equation [Find out more](#)

Use coastal equation [Find out more](#)

Mean tidal prism ( $\times 10^6$  m<sup>3</sup>)

Fraction of ebb water which is not replaced

Approximate number of tides per day

Mean nitrogen concentration in river ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )

Mean nitrogen concentration offshore ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )

Nitrogen loading from effluents (ton y<sup>-1</sup>)

Susceptibility:

Bay volume ( $\times 10^6$  m<sup>3</sup>)

River flow to the bay (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

Tidal range (m)

Score:

	High	MODERATE HIGH	MODERATE HIGH	HIGH
Moderate	MODERATE LOW	MODERATE	MODERATE HIGH	MODERATE HIGH
Low	LOW	LOW	LOW	MODERATE LOW
	Low	Moderate	High	Nutrient loading

[U.S. units](#)

ASSETS Previous Next Open Save Close

Lampiran 1.4. Informasi tentang gejala primer dan sekunder di perairan Teluk Jakarta yang harus di input pada model ASSETS.

**ASSETS - Assessment of Estuarine Trophic Status (ASSETS data)**

Eutrophic Condition (State)

Primary Symptoms

Variable	Value	Spatial coverage	Frequency
Chlorophyll a	50 ug L-1	Moderate (25-50%)	Periodic
Macroalgae	Problems observed	Please select	Periodic

Secondary Symptoms

Variable	Value	Spatial coverage	Frequency
Dissolved oxygen	2	High (>50%)	Periodic
Nuisance and toxic blooms	Problems observed	Days to weeks	Periodic
Submerged Aquatic Vegetation	Loss - Problem	High (>50%)	Please select

Seawater zone Summary

ASSETS Previous Next Open Save Close

Lampiran 1.5. Informasi tentang parameter yang akan berpengaruh dimasa mendatang yang harus di input pada model ASSETS.

**ASSETS - Assessment of Estuarine Trophic Status (ASSETS data)**

Improve Worsen

Future Outlook

Future nutrient pressure

Enter detailed changes [Find out more](#)

Agricultural pressure	Population pressure	Sewage treatment
Increase	Increase	Increase
No Change	No Change	No Change
Decrease	Decrease	Decrease

Role of agriculture and population

Agriculture 10% Population 90%

Susceptibility

Bay volume ( $\times 10^6$ m <sup>3</sup> )	9.3
River flow to the bay (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	27
Tidal range (m)	1.5

Score

Susceptibility	High	IMPROVE LOW	NO CHANGE	WORSEN HIGH
	Mod	IMPROVE LOW	NO CHANGE	WORSEN HIGH
	Low	IMPROVE HIGH	NO CHANGE	WORSEN LOW

Decrease No change Increase  
Future nutrient pressures

ASSETS Previous Next Open Save Close

Lampiran. 1.6. Rerata Tingkat Kecerahan di perairan Teluk Jakarta (*m*) pada tahun 1970an sampai tahun 2000an.

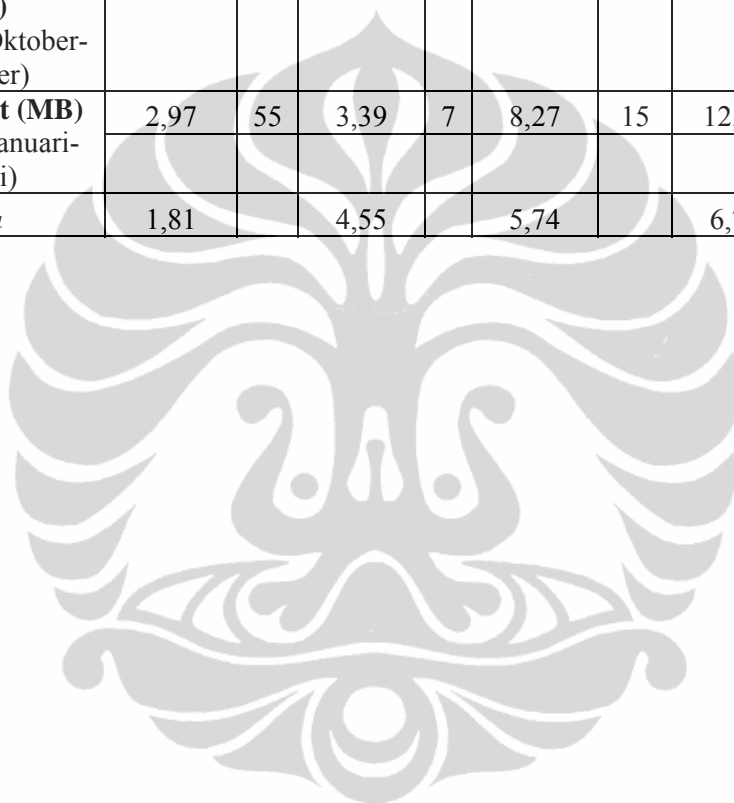
No	Bulan	1970an	1980an	1990an	2000an
1	Januari	7,2			5,2
2	Februari	6,3			3,3
3	Maret				4,2
4	April				
5	Mei	7,0	7,5		2,3
6	Juni			11,8	
7	Juli		7,2	5,7	
8	Agustus			7,1	
9	September	7,0		6,2	
10	Oktober	11,2			
11	November	7,1	7,1		3,9
12	Desember			6,3	
	<b>Rerata</b>	7,6	7,3	7,4	3,8
	<b>Minimum</b>	6,3	7,1	5,7	2,3
	<b>Maksimum</b>	11,2	7,5	11,8	5,2
	<b>SD</b>	1,78	0,21	2,50	1,08

Lampiran. 1.7. Rerata Tingkat Kecerahan di perairan Teluk Jakarta (*m*) pada bulan Mei dan November tahun 2008.

Stasiun	Mei	November
1	4,11	2,50
2	4,95	2,90
3	4,59	2,75
4	4,10	2,25
5	3,67	3,70
6	3,94	3,60
7	3,03	6,55
8	4,33	3,60
9	5,56	4,60
10	4,43	3,70
11	4,84	2,25
12	5,77	2,65
13	7,11	3,10
14	2,80	2,50
15	2,65	2,00
16	3,03	0
<b>Rerata</b>	<b>4,31</b>	<b>3,04</b>
<b>Minimum</b>	<b>2,65</b>	<b>0,00</b>
<b>Maksimum</b>	<b>7,11</b>	<b>6,55</b>
<b>SD</b>	<b>1,15</b>	<b>1,34</b>

Lampiran. 1.8. Data rerata kandungan klorofil-a tahun 1970an sampai tahun 2000an.

Musim	1970an	<i>n</i>	1980an	<i>n</i>	1990an	<i>n</i>	2000an	<i>n</i>
<b>Musim Peralihan-1 (MP-1)</b> (Maret-April-Mei)	1,52	55	7,03	5	7,3	15	3,13	79
<b>Musim Timur (MT)</b> (Juni-Juli-Agustus)	1,6	55	3,27	6	1,64	15	9,54	89
<b>Musim Peralihan-2 (MP-2)</b> (September-Oktober-November)	1,13	55	4,52	5			1,7	101
<b>Musim Barat (MB)</b> (Desember-Januari-Februari)	2,97	55	3,39	7	8,27	15	12,74	9
<i>Rerata</i>	1,81		4,55		5,74		6,78	



Lampiran. 1.9a. Data konsentrasi klorofil-a tahun 1974-1979 pada Musim Peralihan-1, Musim Timur, Musim Peralihan-2 dan Musim Barat.

ST.	MP-1	MT	MP-2	MB
1	2,94	1,97	1,22	1,02
2	1,13	0,90	1,35	1,02
3	1,40	0,87	0,83	0,38
4	1,29	1,02	0,55	0,43
5	0,54	0,63	0,39	0,37
6	0,43	0,64	0,62	0,37
7	0,47	0,43	0,39	0,51
8	2,13	3,51	5,26	7,86
9	1,14	2,25	0,67	6,67
10	1,62	2,42	3,07	2,17
11	0,53	0,81	1,52	1,75
12	0,67	0,85	0,98	1,45
13	5,22	3,46	6,69	3,07
14	6,28	1,37	1,03	2,46
15	1,64	0,52	0,74	2,69
16	1,18	0,46	0,44	1,08
17	1,03	0,42	0,51	2,24
18	3,54	2,19	1,31	5,30
19	4,11	2,82	0,83	14,50
20	1,61	4,71	1,72	2,87
21	0,59	0,53	0,94	5,42
22	2,40	2,83	1,75	14,22
23	1,26	1,48	1,20	17,96
24	3,55	2,05	0,80	4,21
25	0,64	0,84	0,88	3,95
26	0,59	0,41	0,39	2,56
27	0,42	0,64	1,34	3,41
28	0,28	0,47	0,39	1,06
29	0,39	0,31	0,55	1,14
30	0,42	0,92	0,80	3,14
31	0,68	0,64	0,66	2,16
32	0,67	0,82	0,26	2,56
33	0,53	1,62	0,87	2,09
34	3,38	7,29	3,15	7,85
35	3,91	5,72	2,67	5,58
36	2,27	2,48	1,47	1,56
37	0,57	0,47	0,65	0,89
38	1,17	0,97	0,62	1,31

39	0,54	0,40	0,60	0,71
40	0,46	0,38	0,38	0,72
41	0,64	0,35	0,39	0,78
42	0,52	0,35	0,43	0,77
43	0,44	1,31	0,18	0,55
44	0,33	0,29	0,11	0,42
45	0,59	0,57	0,24	0,50
46	1,08	2,82	0,67	1,06
47	0,68	2,16	0,20	0,49
48	0,56	1,21	0,48	1,27
49	0,71	0,71	0,29	1,32
50	0,52	0,41	0,38	1,37
51	0,87	0,56	0,34	1,57
52	1,62	0,84	4,13	1,51
53	1,19	0,92	1,10	3,73
54	7,76	11,60	1,45	4,23
55	2,61	0,50	1,27	2,85

Lampiran. 1.9b. Data konsentrasi klorofil-a tahun 1982-1988 pada Musim Peralihan-1, Musim Timur, Musim Peralihan-2 dan Musim Barat.

St.	MP-1	MT	MP-2	MB
1	14,07	5,60	14,51	7,44
2	8,51	3,16	1,31	3,26
3	7,18	0,76	5,17	2,67
4	5,17	0,68	0,53	2,09
5	0,21	4,95	1,09	4,11
6		4,49		3,54
7				0,64

Lampiran. 1.9c. Data konsentrasi klorofil-a tahun 1993 pada Musim Peralihan-1, Musim Timur, Musim Peralihan-2 dan Musim Barat.

ST	MH	MT	MP-1
1	21,00	8,40	11,96
2	6,54	0,40	8,68
3	13,19	6,77	12,26
4	14,35	0,59	17,45
5	5,80	0,10	18,48
6	9,10	3,15	7,88
7	3,39	0,31	4,30
8	3,99	0,35	1,05
9	7,67	0,36	3,85
10	13,42	0,41	2,69
11	9,80	2,10	5,17
12	4,90	0,61	2,98
13	2,61	0,16	1,82
14	5,79	0,68	2,27
15	2,50	0,32	8,63

Lampiran. 1.9d. Data konsentrasi klorofil-a tahun 2004-2008 pada Musim Peralihan-1, Musim Timur, Musim Peralihan-2 dan Musim Barat.

ST.	MP-1	MT	MP-2	MB
1	0,54	0,536	1,55	1,13
2	0,42	0,417	1,55	0,73
3	0,42	3,72	1,35	0,71
4	0,47	1,39	1,79	0,65
5	0,42	1,01	1,01	1,01
6	1,46	3,97	0,65	0,42
7	0,62	0,95	0,71	0,89
8	1,15	0,77	1,19	<b>55,1</b>
9	0,31	0,65	0,54	<b>54</b>
10	0,62	0,48	0,42	
11	2,92	0,42	0,54	
12	4,79	0,42	0,71	
13	10,20	0,42	1,12	
14	1,82	0,54	0,83	
15	1,30	0,48	1,37	
16	1,77	0,36	1,01	



17	1,35	1,55	0,60	
18	2,71	0,89	0,89	
19	2,29	0,79	1,79	
20	1,77	2,74	0,60	
21	1,46	1,01	0,60	
22	1,25	0,36	0,99	
23	1,04	0,42	0,60	
24	1,04	0,89	0,36	
25	0,73	0,42	0,30	
26	1,87	0,42	0,54	
27	0,73	0,48	0,36	
28	1,77	0,48	0,77	
29	0,52	0,48	1,13	
30	0,62	0,95	2,32	
31	0,62	0,65	1,61	
32	1,190	1,01	3,39	
33	0,595	0,95	0,18	
34	0,595	0,54	0,77	
35	1,785	0,42	0,45	
36	1,584	0,30	2,72	
37	1,810	0,42	1,13	
38	1,810	0,60	0,68	
39	1,358	0,48	1,81	
40	0,453	0,60	0,91	
41	0,905	0,60	0,45	
42	1,584	0,77	0,91	
43	2,489	1,07	0,91	
44	0,905	0,71	0,91	
45	1,584	1,37	2,49	
46	1,584	1,07	1,36	
47	0,679	1,19	1,13	
48	1,358	1,19	1,81	
49	1,810	<b>89,25</b>	1,58	
50	0,679	<b>37,19</b>	0,68	
51	1,132	<b>14,88</b>	0,68	
52	1,584	<b>22,31</b>	0,91	
53	1,358	<b>22,31</b>	0,68	
54	2,037	<b>119,00</b>	1,36	
55	0,679	<b>19,83</b>	1,13	
56	1,132	<b>29,75</b>	1,55	
57	1,810	<b>39,67</b>	1,55	
58	5,940	<b>14,88</b>	1,35	
59	2,716	<b>22,31</b>	1,79	
60	1,810	<b>7,44</b>	1,01	
61	2,037	<b>22,31</b>	0,65	

62	1,358	<b>7,44</b>	0,71	
63	1,132	<b>29,75</b>	1,19	
64	1,132	<b>14,88</b>	0,54	
65	0,679	<b>14,88</b>	0,42	
66	1,810	<b>14,88</b>	0,30	
67	0,905	<b>29,75</b>	0,54	
68	1,132	<b>22,31</b>	0,71	
69	2,716	<b>22,31</b>	1,12	
70	4,903	<b>14,88</b>	0,83	
71	7,355	<b>89,25</b>	1,37	
72	2,263	14,03	1,01	
73	3,112	3,85	0,60	
74	2,263	6,79	0,89	
75	1,980	2,72	1,79	
76	1,697	2,49	0,60	
77	1,697	2,04	3,959	
78	<b>49</b>	1,81	1,655	
79	<b>66,01</b>	2,49	2,966	
80		2,26	1,576	
81		4,07	1,417	
82		3,85	0,940	
83		1,81	0,940	
84		4,75	0,940	
85		2,72	0,464	
86		4,53	0,464	
87		4,98	0,702	
88		8,37	1,179	
89		12,22	2,609	
90			0,940	
91			2,847	
92			1,894	
93			2,847	
94			1,417	
95			1,417	
96			0,940	
97			1,894	
98			0,940	
99			0,940	
100			0,940	
101			<b>55,65</b>	

Lampiran. 1.10. Data Citra Satelit untuk pendugaan model algoritma tingkat kecerahan dan klorofil-a pada tahun 2004.

Waktu	Parameter	Min	Max	Rerata	STD
21/06/2004	Kecerahan (m)	1,60	12,44	5,89	3,06
	Klofrol-a(mg/m <sup>3</sup> )	0,18	3,97	0,92	0,92
	Reflektansi Atmosferik-b1	0,03	0,06	0,04	0,01
	Reflektansi Atmosferik-b2	0,02	0,06	0,03	0,01
	Reflektansi Atmosferik-b3	0,02	0,06	0,03	0,01
	Perbandingan Rasio-b1/b2	0,99	1,87	1,41	0,25
	Perbandingan Rasio-b1/b3	0,85	1,95	1,33	0,30
	Perbandingan Rasio-b2/b3	0,67	1,39	0,95	0,15
	Perbandingan Kromatisiti-b1/(b1+b2+b3)	0,32	0,48	0,40	0,04
	Perbandingan Kromatisiti-b2/(b1+b2+b3)	0,24	0,35	0,29	0,03
	Perbandingan Kromatisiti-b3/(b1+b2+b3)	0,25	0,37	0,31	0,04
	23/07/2004	Kecerahan (m)	1,60	12,44	4,46
Klofrol-a(mg/m <sup>3</sup> )		0,06	3,97	0,67	0,82
Reflektansi Atmosferik-b1		0,01	0,10	0,08	0,02
Reflektansi Atmosferik-b2		0,01	0,12	0,08	0,03
Reflektansi Atmosferik-b3		0,01	0,10	0,07	0,03
Perbandingan Rasio-b1/b2		0,25	1,87	0,96	0,30
Perbandingan Rasio-b1/b3		0,30	1,95	1,08	0,27
Perbandingan Rasio-b2/b3		0,15	1,44	1,12	0,23
Perbandingan Kromatisiti-b1/(b1+b2+b3)		0,04	0,48	0,33	0,07
Perbandingan Kromatisiti-b2/(b1+b2+b3)		0,03	0,40	0,34	0,07
Perbandingan Kromatisiti-b3/(b1+b2+b3)		0,04	0,37	0,30	0,05
24/08/2004		Kecerahan (m)	0,10	12,44	3,71
	Klofrol-a(mg/m <sup>3</sup> )	0,18	3,97	0,75	0,62
	Reflektansi Atmosferik-b1	0,02	0,10	0,04	0,02
	Reflektansi Atmosferik-b2	0,03	0,12	0,05	0,02
	Reflektansi Atmosferik-b3	0,02	0,14	0,04	0,02
	Perbandingan Rasio-b1/b2	0,30	1,87	0,90	0,25
	Perbandingan Rasio-b1/b3	0,27	2,22	1,00	0,35
	Perbandingan Rasio-b2/b3	0,23	1,56	1,08	0,22
	Perbandingan Kromatisiti-b1/(b1+b2+b3)	0,07	0,48	0,31	0,07
	Perbandingan Kromatisiti-b2/(b1+b2+b3)	0,07	0,40	0,35	0,05
	Perbandingan Kromatisiti-b3/(b1+b2+b3)	0,05	0,43	0,32	0,06
	08/09/2004	Kecerahan (m)	1,16	8,28	4,40
Klofrol-a(mg/m <sup>3</sup> )		0,00	1,31	0,44	0,31
Reflektansi Atmosferik-b1		0,11	0,14	0,13	0,01

	Reflektansi Atmosferik-b2	0,11	0,16	0,13	0,01
	Reflektansi Atmosferik-b3	0,07	0,13	0,08	0,01
	Perbandingan Rasio-b1/b2	0,83	1,11	1,00	0,06
	Perbandingan Rasio-b1/b3	1,02	1,74	1,51	0,16
	Perbandingan Rasio-b2/b3	1,22	1,64	1,50	0,08
	Perbandingan Kromatisiti-b1/(b1+b2+b3)	0,31	0,40	0,37	0,02
	Perbandingan Kromatisiti-b2/(b1+b2+b3)	0,36	0,39	0,37	0,01
	Perbandingan Kromatisiti-b3/(b1+b2+b3)	0,23	0,31	0,25	0,02
25/09/2004	Kecerahan (m)	0,58	5,96	2,67	1,33
	Klofrol-a(mg/m <sup>3</sup> )	0,12	3,39	0,54	0,65
	Reflektansi Atmosferik-b1	0,03	0,10	0,04	0,01
	Reflektansi Atmosferik-b2	0,01	0,10	0,03	0,02
	Reflektansi Atmosferik-b3	0,01	0,12	0,03	0,02
	Perbandingan Rasio-b1/b2	0,92	3,33	1,81	0,50
	Perbandingan Rasio-b1/b3	0,80	3,29	1,55	0,63
	Perbandingan Rasio-b2/b3	0,60	1,34	0,85	0,18
	Perbandingan Kromatisiti-b1/(b1+b2+b3)	0,30	0,62	0,44	0,07
	Perbandingan Kromatisiti-b2/(b1+b2+b3)	0,19	0,33	0,25	0,03
	Perbandingan Kromatisiti-b3/(b1+b2+b3)	0,19	0,39	0,31	0,06
10/10/2004	Kecerahan (m)	0,00	8,56	4,39	2,11
	Klofrol-a(mg/m <sup>3</sup> )	0,12	2,38	0,70	0,56
	Reflektansi Atmosferik-b1	0,03	0,07	0,05	0,01
	Reflektansi Atmosferik-b2	0,02	0,06	0,04	0,01
	Reflektansi Atmosferik-b3	0,02	0,06	0,04	0,01
	Perbandingan Rasio-b1/b2	0,94	1,53	1,16	0,12
	Perbandingan Rasio-b1/b3	0,93	1,46	1,15	0,13
	Perbandingan Rasio-b2/b3	0,81	1,25	0,99	0,09
	Perbandingan Kromatisiti-b1/(b1+b2+b3)	0,32	0,43	0,36	0,02
	Perbandingan Kromatisiti-b2/(b1+b2+b3)	0,28	0,35	0,31	0,02
	Perbandingan Kromatisiti-b3/(b1+b2+b3)	0,27	0,35	0,32	0,02
11/11/2004	Kecerahan (m)	0,00	12,80	6,22	2,98
	Klofrol-a(mg/m <sup>3</sup> )	0,12	2,38	0,52	0,50
	Reflektansi Atmosferik-b1	0,01	0,07	0,04	0,01
	Reflektansi Atmosferik-b2	0,01	0,07	0,04	0,01
	Reflektansi Atmosferik-b3	0,01	0,07	0,04	0,01
	Perbandingan Rasio-b1/b2	0,12	1,53	1,07	0,22
	Perbandingan Rasio-b1/b3	0,13	1,46	1,06	0,20
	Perbandingan Rasio-b2/b3	0,09	1,25	0,97	0,18
	Perbandingan Kromatisiti-b1/(b1+b2+b3)	0,02	0,43	0,34	0,06
	Perbandingan Kromatisiti-b2/(b1+b2+b3)	0,02	0,36	0,31	0,05
	Perbandingan Kromatisiti-b3/(b1+b2+b3)	0,02	0,36	0,32	0,05

Lampiran 1.11. Nilai koefisien korelasi hubungan antara ND Citra Landsat-7 ETM+ dan Transparansi perairan Teluk Jakarta dengan menggunakan berbagai bentuk persamaan regresi (nilai yang dicetak tebal secara statistik menunjukkan keeratan hubungan).

Parameter Kualitas Perairan	Bentuk Persamaan Regresi		ND Original			ND Transformasi Kromatisiti			Transformasi Ratio Antar Band		
	Linier	Logaritmik	Biru	Hijau	Merah	Kromatisiti /Biru	Kromatisiti /Hijau	Kromatisiti /Merah	Biru/Hijau	Biru/Merah	Hijau/Merah
Transparansi	$Y = a + bX$	$Y = a + b \cdot \ln(X)$	<0,1	<0,1	0,21	0,56	<0,1	0,72	0,29	0,7	0,53
			<0,1	<0,1	0,21	0,56	<0,1	0,71	0,29	0,69	0,55
		$Y = a_0 + b_1 \cdot X^1 + b_2 \cdot X^2 + b_3 \cdot X^3$	<0,1	<0,1	0,22	0,58	<0,1	<b>0,78</b>	0,3	0,71	0,56
		$Y = a \cdot \exp^{(bX)}$	<0,1	<0,1	0,18	0,57	<0,1	0,64	0,34	0,62	0,34
		$Y = a \cdot X^b$	<0,1	<0,1	0,17	0,56	<0,1	0,65	0,33	0,64	0,33
		$Y = a_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3$	<b>0,78</b>			0,71			0,71		

Lampiran 1.12. Nilai pengukuran TRIX di perairan Teluk Jakarta pada tahun 1970an-tahun 2000an.

ST.	74-77	75-76	77-79	82-83	84-85	93	04-08
1	4,40	4,45	4,97	4,86	4,80	5,03	8,10
2	4,07	4,56	4,87	4,61	4,76	3,71	8,15
3	4,05	4,78	4,50	3,99		4,94	8,21
4	4,12	3,83	3,78	3,94		3,88	7,97
5	3,91	4,56	4,10			3,11	7,78
6	3,91	4,28	3,72			4,61	7,81
7	3,74	4,42	3,69			3,59	8,04
8	4,65	4,03	3,65			3,65	7,69
9	4,46	3,72	3,66			3,66	7,58
10	4,49	3,92	4,23			3,72	7,43
11	4,02	3,78	3,57			4,43	7,69
12	4,04	3,60	3,87			3,90	7,81
13	4,65	4,07	4,56			3,30	7,88
14	4,25	3,92	4,45			3,94	7,97
15	3,82	4,02	4,19			3,61	7,74
16	3,78	4,32	3,96				7,91
17	3,73		3,73				8,21
			3,86				6,89
			4,03				7,15
			4,07				7,63
			5,17				7,15
			3,81				6,98
							7,46
							6,98
							6,98
							6,98
							7,46
							7,28

Lampiran 1.13. Beberapa referensi pemanfaatan citra Landsat untuk analisis kecerahan perairan (*Secchi Disk Depth/SDD*).

No	Sensor	Lokasi	R <sup>2</sup>	Pustaka	Keterangan
1.	Landsat-5 TM	Teluk Omura, Jepang	0,96	Wouthuyzen, 1991	Musim semi
			0,98	idem	Musim gugur
2	Landsat -5 TM	Gulf Findland, Eropa	0,72	Zhang <i>et al.</i> (2002)	Kecerahan perairan ( <i>Secchi Disk Depth/SDD</i> )
3	Landsat -5 & -7	Danau Michigan, Amerika	-	USGS (2007)	Kecerahan perairan ( <i>Secchi Disk Depth/SDD</i> ), Klorofil-a, TSI
4	Landsat -5 TM	Danau Poyang, China	0,94	Wu <i>et al.</i> (2008)	Kecerahan perairan ( <i>Secchi Disk Depth/SDD</i> )
5	Landsat-7 ETM	Perairan pantai Libanon	-	Kabbara <i>et al.</i> (2008)	Kecerahan perairan
6	Landsat-7 ETM+	Teluk Jakarta	0,78	Studi ini	Kecerahan perairan ( <i>Secchi Disk Depth/SDD</i> ), TSI
7	Landsat -5 & -7	Bendungan, Cyprus	-	Hadjimitisis <i>et al.</i> (2010)	Kecerahan perairan, TSI



Lampiran 1.14.. Beberapa model pendugaan eutrofikasi dan indikatornya

Indikator	Model									
	Zat hara (Indek-1)	Zat Hara (Indek-2)	PCA	Fuzzy Analysis	OSPAR COMPP	EPA NCA	ASSETS			
	Lin (1996)	Zou <i>et al.</i> (1985)	Parinet <i>et al.</i> (2004)	Metternicht (2001)	OSPAR (2003)	USEPA (2005)	Brickers <i>et al.</i> (2003)			
Pasokan kandungan zat hara (DIN,DIP)	X	X	X	X	X	X	X			
Kebutuhan kimia oksigen (COD)	X	X	X	X	X	X	X			
Klorofil-a	X		X	X	X	X	X			
Oksigen terlarut (DO)	X	X	X	X	X	X	X			
Kecerahan perairan			X	X	X	X	X			
Marak Alga (HAB)			X	X	X	X	X			
Indikator jenis fitoplankton										
Kepadatan makroalga										
Tanaman air (SAV)										
Kematian bentos dasar/ikan										



## **BAB II**

### **MARAK ALGA DI PERAIRAN TELUK JAKARTA**

**Agus Sediadi**

#### **ABSTRACT**

Algal bloom is a rapid increase or accumulation in the population of alga in an aquatic system. Algal blooms may occur in freshwater as well as marine environments. A harmful algal bloom (HAB) is an algal bloom that causes negative impacts to other organisms via production of natural toxins, mechanical damage to other organisms. HABs are often associated with large-scale marine mortality events and have been associated with various types of shellfish poisonings. The aim of this study are: (1). Assessing incidence of algal bloom in Jakarta Bay effectively and efficiently by using satellite image data through monitoring, mapping and evaluating chlorophyll-a concentration as an indicator of algal bloom. (2). Observing the impact of algal bloom and understanding algal bloom events in the Jakarta Bay waters, and (3). Designing an early warning system that can be applied to stakeholders or users of Jakarta Bay. The water environment in the Jakarta Bay gets more and more stress due to heavy eutrophication and pollution. Algal blooms in the Jakarta Bay was monitored by using Terra and Aqua satellites MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectro-Radiometer*) data from 2004 to 2008 shows that the high occurrences of algal blooms are in April to May and September to October. Massive fish kill follows Algal-blooms events if the oxygen depletion formed and the water circulations are weak. Therefore, to develop early warning system these two parameters are needed to be monitored. Combination between tide data and images high repetitiveness of MODIS images will make the algal blooms phenomenon clearer.

*Key words: Algal Blooms, Early Warning System, Fish Kill, Jakarta Bay, MODIS.*

#### **PENDAHULUAN**

Kata marak alga merupakan padanan kata yang diterjemahkan dari bahasa Inggris sebagai “*algal bloom*”, yaitu meningkat dengan cepat atau meledaknya populasi mikroalga (mikroskopik alga bersel tunggal) pada suatu perairan. Marak alga dapat terjadi pada perairan tawar maupun pada lingkungan perairan laut. Tipe umum dari marak alga adalah meledaknya hanya satu atau sejumlah kecil spesies fitoplankton (*Phytoplankton*) yang dapat ditandai dengan terjadinya

perubahan warna air (*discoloration*) akibat tingginya konsentrasi pigmen dari sel fitoplankton tersebut ([en.wikipedia.org/wiki/Harmful\\_algal\\_blooms](http://en.wikipedia.org/wiki/Harmful_algal_blooms)). Walaupun tidak ada batasan kisaran level yang jelas, kejadian marak alga bisa mencapai ribuan sel/milliliter air, atau bahkan jutaan sel/milliliter. Tergantung dari jenis/spesiesnya, pada saat kejadian marak alga perairan biasanya berwarna hijau, kuning kecoklat-coklatan atau merah. Pada saat kejadian marak alga perairan berwarna merah, maka kerap kali marak alga diistilahkan pula sebagai pasang merah atau “*Red tide*”. Hal ini sebetulnya menggambarkan fenomena yang sama, namun kata tersebut berpotensi menjadi salah arti, sebab tidak menjelaskan bahwa ada banyak mikro alga lain yang memiliki perbedaan warna lain (selain merah) pada saat terjadinya marak alga (UNESCO, 1995; GEOHAB, 2001; Anderson *et al.*, 2002; Anderson, 2008).

Pada umumnya, kejadian marak alga tidak berbahaya (*not harmful*), tetapi sebagian memiliki potensi menjadi berbahaya, sehingga dikenal menjadi marak alga berbahaya (*Harmful Algal blooms/HAB*). Hingga kini, tidak ada definisi yang betul-betul tepat dan cocok tentang HAB, karena marak alga adalah suatu fenomena yang memiliki ciri-ciri tertentu, selain kepadatannya. Marak alga merupakan populasi alga yang kepadatannya bisa dinyatakan dalam angka, tetapi jenis/species yang berpotensi menjadi HAB dipengaruhi oleh wilayah, musim, dan aspek spesifik dari jenis alga tersebut. Jadi, HAB bisa terjadi pada tingkatan populasi yang sangat tinggi atau rendah. Beberapa spesies HAB terjadi dengan konsentrasi rendah (hanya beberapa ratus individu/L), tetapi sangat berbahaya bagi organisme lain dan kesehatan publik, karena dapat menelan biaya jutaan dolar untuk menanggulangnya, serta dapat menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan (Lee & Qu, 2004).

Ada banyak organism yang tergolong sebagai HAB termasuk flagelata, terutama dinoflagelata, cyanobakteria, beberapa spesies dari diatom, silikoflagelata, prymesiofita, rapidofita dan fitoplankton lainnya (UNESCO, 1995). Diduga sekitar 300 fitoplankton dilaporkan sebagai HAB, tetapi hanya 20% (60-80) yang benar-benar berbahaya karena mengandung racun biologi (*bio-toxin*) yang dapat berdampak secara fisik dan kimiawi, sedangkan dari kelompok dinoflagelata, 75% diantaranya adalah HAB (Smayda, 1997).

Beberapa jenis fitoplankton yang mengakibatkan *Harmful Algal Blooms* (HAB), dapat dilihat pada Gambar 2.1.

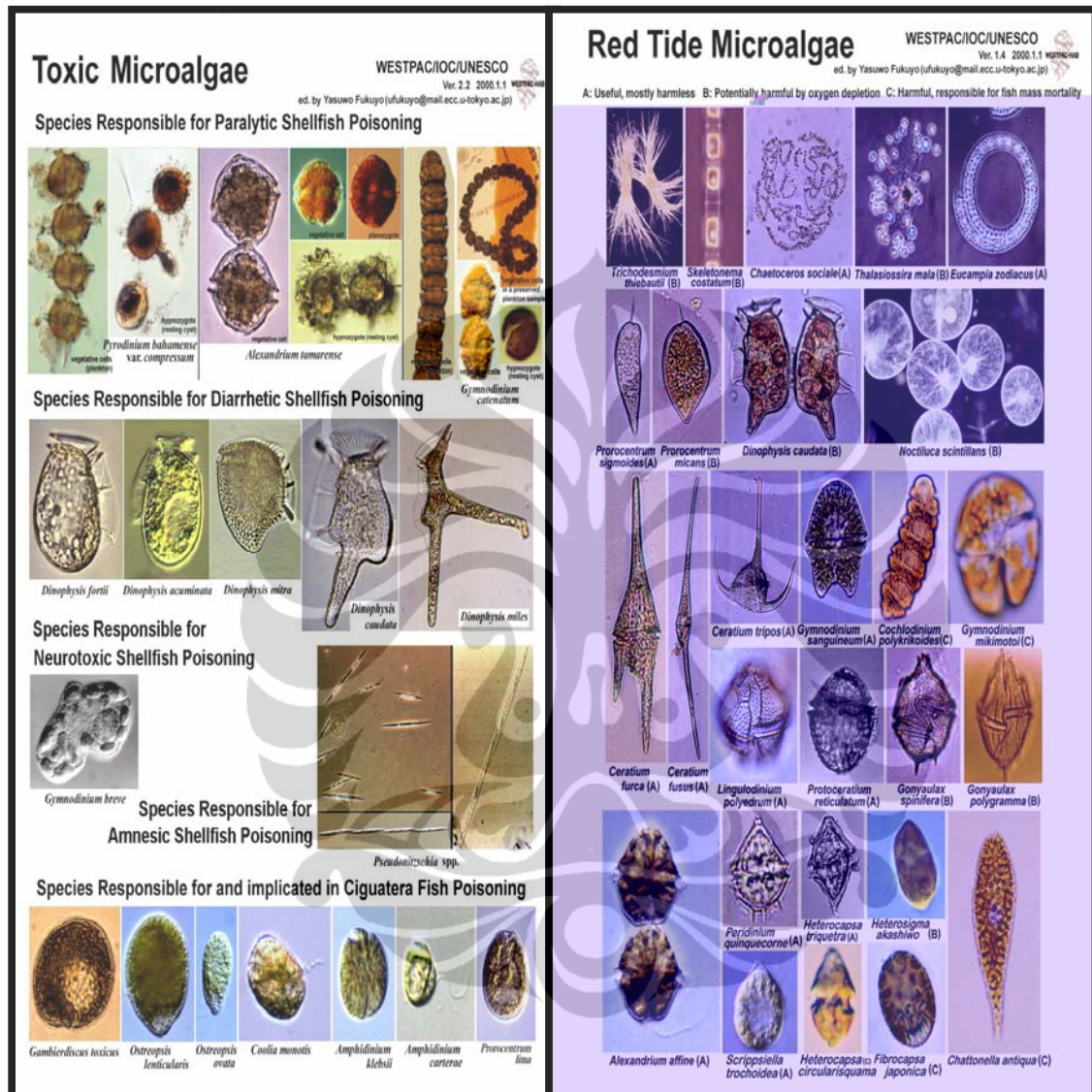
Kejadian marak alga telah diamati sejak tahun 1840 di Florida, Amerika. Kejadian ini berlangsung bahkan sebelum adanya peningkatan jumlah penduduk dan sebelum terjadinya pembukaan lahan yang signifikan besar-besaran, serta sebelum adanya pengembangan pertanian dan industri di wilayah tersebut. Selama tahun 1844 hingga 1971, tercatat sebanyak 24 kali kejadian marak alga di pantai barat Florida (Kirkpatrick, 2004).

Namun, dalam beberapa dekade belakangan ini, marak alga terjadi di lebih banyak tempat di dunia, jumlah jenis (*species*) mikroalga yang terlibat dalam suatu kejadian marak alga juga meningkat, lebih banyak toksin (racun) yang diketahui, lebih banyak sumberdaya perikanan yang kena imbasnya, serta meningkatnya dampak ekonomi dari kejadian marak alga dibandingkan dari tahun-tahun sebelumnya (SEAFDEC & IDRC, 1984; Hallegraff, 1992; EUROHAB, 1999; Anderson *et al.*, 2002; EC, 2003; GEOHAB, 2001, 2003, 2005; Tan, 2007; Anderson, 2008).

Di Indonesia marak alga yang dikenal sebagai pasang merah “*red tide*” pertama kali tercatat pada tahun 1977 di perairan Teluk Kao, Halmahera (Sumadhiharga, 1977; Adnan 2003). Seringnya kejadian marak alga di teluk ini menyebabkan masyarakat tidak berani memakan hasil laut jika ada perubahan warna laut menjadi merah. Berdasarkan pengalaman mereka, masyarakat sadar benar bahwa marak alga dapat mendatangkan penyakit dan bahkan kematian (Wiadnyana *et al.*, 1999). Di Teluk Ambon, marak alga dari kelompok dinoflagelata jenis *Gymnodinium bahamense* pada tahun 1994 telah menyebabkan lebih dari 30 orang mengalami keracunan dan 4 di antaranya meninggal dunia setelah memakan kerang dari pantai yang terkontaminasi oleh alga beracun tersebut (Izaak, personal komunikasi).

Walaupun tidak ada catatan resmi, marak alga di perairan Teluk Jakarta telah terjadi sejak tahun 1975 yang ditandai dengan kematian masal ikan di teluk ini. Luasan dan frekuensi kejadian marak alga di dilaporkan terus meningkat (Arifin, 2003; Wouthuyzen *et al.*, 2006). Marak alga disebabkan beberapa faktor,

di mana faktor utamanya adalah meningkatnya zat nutrisi yang sangat tinggi akibat dari proses eutrofikasi.



Gambar 2.1. Jenis-jenis mikro alga yang dapat membahayakan kesehatan/jiwa manusia (toxic microalga; kiri) dan yang dapat menyebabkan kematian masal ikan (kanan; WESTPAC/IOC/UNESCO, 2000).

Pada Bab-1, telah dibuktikan bahwa proses eutrofikasi di Teluk Jakarta telah berlangsung sekitar 30 tahun, dan ke depan diprediksi bahwa intensitas eutrofikasi akan lebih menguat dan kondisi perairan akan lebih memburuk, sehingga tidak diragukan lagi bahwa kejadian marak alga pun akan semakin kuat

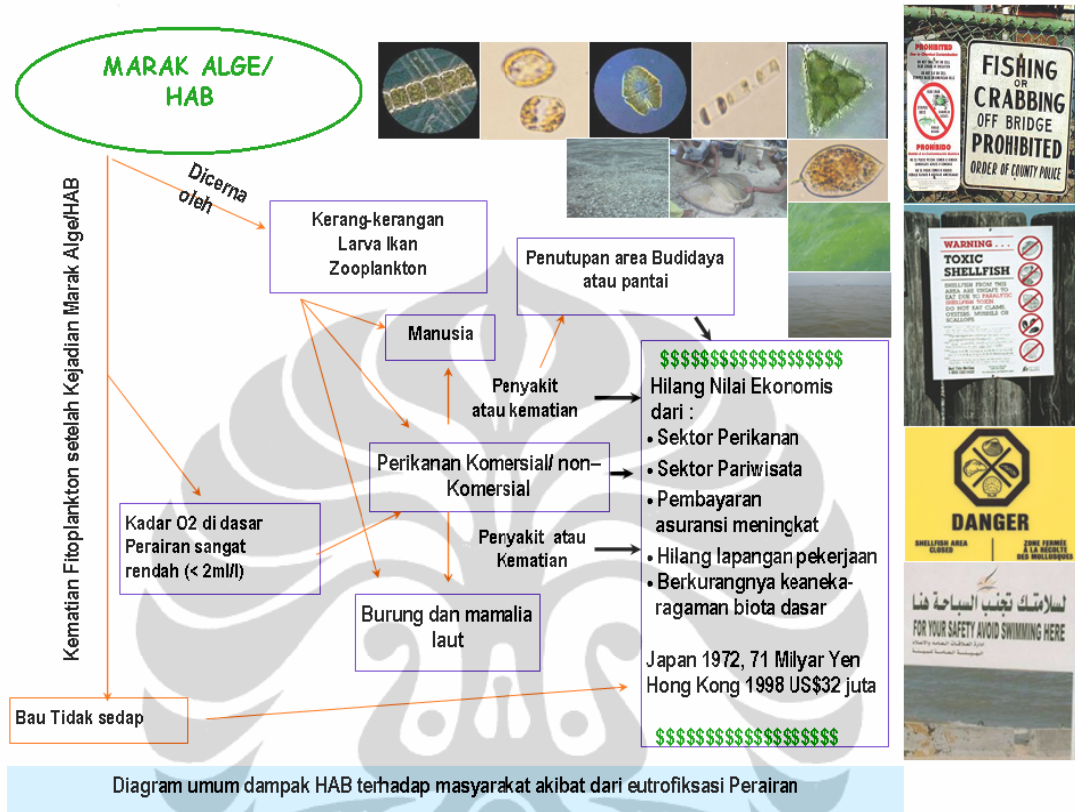
dan semakin sering terjadi. Dampak selanjutnya dari marak alga di perairan Teluk Jakarta adalah sebagai berikut :

- i. Berkurangnya nilai-nilai keindahan tempat pariwisata di wilayah pesisir (pantai Ancol, Pulau Bidadari), karena menurunnya kecerahan perairan, meningkatnya produksi lendir, dan bau busuk akibat marak alga.
- ii. Berbahaya bagi kesehatan masyarakat, dan bahkan berakibat fatal (kematian) jika saat marak alga didominasi oleh jenis yang memiliki racun kuat (*Paralytic Shellfish Poison/PSP*), seperti dari kelompok dinoflagelata. Racun tersebut terakumulasi pada hewan laut, seperti kerang-kerangan, ikan, kepiting udang dan organisme lainnya yang kemudian dimakan manusia, mamalia laut, burung laut.
- iii. Kematian masal ikan, dan berkurangnya keaneka-ragaman biota dasar yang disebabkan sangat rendahnya kadar oksigen ( $< 2\text{ml/L}$ ) di dasar perairan (*hypoxic*) setelah kejadian marak alga selesai.
- iv. Hilangnya mata pencaharian masyarakat nelayan, baik nelayan tangkap maupun nelayan budidaya, karena pada saat marak alga masyarakat takut makan produk dari laut (*seafood*).

Perairan Teluk Jakarta merupakan perairan yang memiliki potensi ekonomi penting, antara lain: potensi perikanan (perikanan tangkap dan budidaya laut); Pariwisata bahari (menikmati pemandangan, berenang, snorkling, menyelam/scuba diving, jalan-jalan dan berjemur di pantai, camping, jet ski, memancing dan sebagainya); Taman Nasional dan Cagar Alam (Pulau Burung, P. Rambut, P. Bokor) dan cagar budaya (P. Ohnrust); Tempat diselenggarakannya berbagai aktivitas penelitian, pendidikan dan pelatihan kelautan (P. Pari, P. Pramuka); Perhubungan (ada Bandar besar/pelabuhan internasional Tanjung Priok dan Pelabuhan Sunda Kalapa); Perdagangan serta banyak kegiatan perekonomian lainnya. Sayangnya, potensi ekonomi yang tinggi tersebut menghadapi banyak ancaman, tidak saja dari kejadian eutrofikasi dan marak alga, tetapi juga dari banyak kasus pencemaran lainnya, seperti pencemaran minyak (*oil spill*), logam berat, pencemaran kimia (PCB, TBT), pencemaran bakteri pathogen, sampah domestik dan pabrik.



Keseluruhan dampak dari marak alga dapat disimpulkan dalam Gambar 2.2 berikut di bawah ini.



Gambar 2.2. Diagram gambaran umum dampak marak alga terhadap masyarakat.

Mengingat pentingnya perairan Teluk Jakarta, maka kesungguhan untuk melakukan upaya monitoring jangka panjang dari kejadian marak alga di perairan Teluk Jakarta sudah tidak dapat dihindari lagi dan harus dilakukan dari sekarang. Usaha tersebut membutuhkan suatu sistem (peralatan) yang dapat memberikan pengamatan yang sering, berulang, memantau secara luas dan tidak berubah-ubah (konsisten). Disamping itu, perlu pula dicari parameter yang dapat dengan mudah dikoleksi dan diukur (misalnya konsentrasi klorofil-a) yang dapat memberikan indikasi kuat bahwa kualitas lingkungan yang diamati mengalami tekanan (Hu, 2004; Feranita *et al.*, 2005).

Karena kejadian marak alga, khususnya yang berbahaya (HAB) yang berpotensi mengandung racun kuat dapat menimbulkan bencana alam (*natural*

*disaster*), sama seperti bencana alam lainnya di wilayah peisir dan laut (angin kencang, gempa, bumi, tsunami), maka penelitian marak alga perlu dilakukan. Penelitian, pemantauan dan evaluasi marak alga masih sangat jarang sekali dilakukan di perairan Indonesia dibandingkan dengan negara-negara lain di dunia (Jepang, Eropa, Amerika) dengan berbagai program yang dirancang khusus untuk mengkaji HAB (Program JSPS: Jepang, GEOHAB, ECOHAB, EUROHAB). Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian marak alga mutlak perlu untuk segera dilakukan.

Penelitian ini bertujuan : (i). Mengkaji kejadian marak alga di perairan Teluk Jakarta secara efektif dan efisien (teknik penginderaan jauh) dengan memanfaatkan data citra satelit melalui tahapan, pemetaan, pemantauan dan evaluasi konsentrasi klorofil-a sebagai indikator marak alga. (ii). Melihat dampak marak alga dan mencari pemahaman antara kejadian marak alga dan kematian masal ikan di perairan Teluk Jakarta, dan (iii). Merancang sistem pendeteksian dini (*early warning system*) yang dapat diaplikasikan ke masyarakat pemangku kepentingan (*stake holder*) atau pengguna (*user*) perairan Teluk Jakarta.

## **BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN**

### **1. Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di perairan Teluk Jakarta. Keterangan rinci mengenai teluk ini dan lokasi kajian dapat dilihat pada sub bab Bahan dan Metodologi Penelitian di **BAB I**.

Koleksi data kualitas perairan dilakukan setiap 16 hari yang disesuaikan dengan jadwal lintasan satelit Landsat-7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) dan satelit Terra- dan Aqua-MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradio-meter*) di atas Teluk Jakarta dari tahun 2004 sampai 2007 dan sampling tambahan pada tahun 2008 (Mei dan November). Sampling dirancang secara bersamaan (*near simultaneously*) dengan lintasan satelit sekitar 2-3 jam sebelum dan sesudah citra satelit tersebut melintas pada pukul 9.45 WIB.

## 2. Pengukuran dan sampling data lapangan

Pengukuran data kualitas perairan mencakup kecerahan perairan, konsentrasi klorofil-a, suhu, salinitas dan fitoplankton. Pengukuran yang langsung dilakukan di lapangan adalah kecerahan perairan, suhu dan salinitas. Kecerahan perairan diukur menggunakan cakram Secchi (*Secchi disk*), suhu dan salinitas menggunakan CTD (*Compensated Thermometer Depth*) Portable, sedangkan konsentrasi klorofil-a dan fitoplankton diambil sampelnya untuk kemudian di analisis di Laboratorium P2O-LIPI.

Prosedur pengukuran konsentrasi klorofil-a sama seperti yang dilakukan pada sub bab Bahan dan Metodologi Penelitian di **BAB I**.

Sampling fitoplankton dilakukan dengan menggunakan jaring plankton (*plankton net*) dengan bukaan mulut berdiameter 31 cm dengan panjang 120 cm dan ukuran mata jaring 80  $\mu\text{m}$ . Teknik sampling dilakukan secara vertikal pada kedalaman dekat dasar perairan. Setelah itu, contoh plankton disimpan di dalam botol sampel dan diawetkan dengan Formalin 4% yang telah dinetralkan dengan Borax (Tangen 1978; Thronsen 1978). Kemudian, sampel plankton dipindahkan ke dalam gelas ukur (100 cc) dan diendapkan selama 24 jam. Kepadatan plankton merupakan volume endapan (*setling volume*) yang dinyatakan dalam cc. Pencacahan kelimpahan plankton dilakukan dengan menggunakan mikroskop dan kelimpahan fitoplankton dinyatakan dalam sel  $\text{m}^{-3}$ .

## 3. Akuisisi dan Analisis Data Citra Satelit MODIS

Sensor MODIS terpasang pada 2 satelit, yaitu satelit TERRA dan satelit AQUA. Satelit TERRA melintasi Teluk Jakarta sekitar jam 10,15 WIB dari arah Utara Katulistiwa menuju ke Selatan (*descending mode*), sedangkan satelit AQUA melintas jam 13.30 WIB dari arah Selatan Katulistiwa menuju Utara (*ascending mode*), sehingga tersedia 2 set data lintasan sensor MODIS di atas Teluk Jakarta setiap hari. Data dari sensor MODIS memiliki kepekaan radiometrik yang tinggi (12 Bits), terdiri dari 36 Band/channel dengan kisaran panjang gelombang 0,4 – 14,4  $\mu\text{m}$ . 2 Band pertama (Band-1 dan band-2) memiliki resolusi daratan (*ground resolution*) 250 m, 5 Band berikutnya memiliki resolusi 500 m, sedangkan 29



Band sisanya memiliki resolusi 1000 m dengan bentangan daerah yang diamatinya seluas 2330 x 2330 km.

Pada penelitian ini hanya digunakan Band yang memiliki resolusi daratan 250 – 500 m (7 Band pertama MODIS), tetapi karena analisis menekankan pada kualitas perairan, maka band-band yang digunakan hanya band-band dengan kisaran panjang gelombang tampak (lihat Tabel 2.1.), yaitu band dengan kisaran panjang gelombang biru (MODIS Band-3: 0,459 – 0,479  $\mu\text{m}$ ), hijau (MODIS Band-4: 0,545 – 0,645  $\mu\text{m}$ ) dan merah (MODIS Band-1: 0,620 – 0,670  $\mu\text{m}$ ), serta 1 Band tambahan pada kisaran panjang gelombang infra merah dekat (MODIS Band-2: 0,481 – 0,876  $\mu\text{m}$ ).

Walaupun MODIS dirancang khusus untuk aplikasi di bidang warna laut (*ocean colour*; Band -8 sampai Band -16), namun karena resolusinya 1000 m, maka band-band tersebut tidak digunakan, karena Teluk Jakarta akan terlihat terlalu kecil bila dipantau dengan menggunakan band-band tersebut.

Tabel 2.1. Ciri utama sensor MODIS untuk daratan dan perairan laut yang tampak dan spektrum wilayah infra merah dekat (near-infrared/NIR (Gao *et al.*, 2007).

Kegunaan Utama	Band No.	Bandwith (nm)	Resolusi (m)	Rasio Sinyal terhadap gangguan
Aplikasi untuk daratan	1	620-670, Red	250	128
	2	841-876, NIR	250	201
	3	459-479, Blue	500	243
	4	545-565, Green	500	248
	5	1230-1250, Mid-IR	500	74
	6	1628-1652, Mid-IR	500	275
	7	2105-2155, Mid-IR	500	110
Aplikasi untuk perairan laut	8	405-420, Blue	1000	880
	9	438-448, Blue	1000	838
	10	483-493, Blue	1000	802
	11	526-536, Green	1000	754
	12	546-556, Green	1000	750
	13	662-672, Red	1000	910
	14	673-683, Red	1000	1087
	15	743-753, NIR	1000	586
	16	862-877, NIR	1000	516

Citra MODIS level 1B yang telah terkalibrasi nilai radiansnya diperoleh dengan cara mengunduh dari salah satu situs

NASA, <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime> atau <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>. Sebelum data MODIS dianalisis, terlebih dahulu seluruh data dikoreksi untuk mengurangi bias yang disebabkan oleh pengaruh atmosfer antara sensor dengan permukaan bumi (perairan Teluk Jakarta), serta pengaruh ketuaan sensor itu sendiri, mengingat data yang digunakan adalah data MODIS multi-temporal, di mana kondisi atmosfer akan berubah-ubah, sehingga diperlukan koreksi atmosferik.

Pada umumnya signal yang diterima oleh sensor satelit terdiri dari komponen berbagai spektral radian yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Walters, 1985):

$$LT(\lambda) = LR(\lambda) + LA(\lambda) + LW(\lambda) * t(\lambda) . \text{ di mana:}$$

$LT(\lambda)$  = radians yang tertangkap oleh sensor pada panjang gelombang ( $\lambda$ )

$LR(\lambda)$  = radians dari sumbangan komponen "rayleigh"

$LA(\lambda)$  = radians dari sumbangan komponen "aerosol"

$LW(\lambda)$  = radians dari pantulan balik permukaan air laut

$t(\lambda)$  = difusi transmitans dari atmosfer

Untuk melakukan koreksi atmosferik di atas dibutuhkan input parameter fisik yang sulit diperoleh, sehingga diperlukan prosedur alternatif lain yang lebih sederhana. Dalam penelitian ini digunakan prosedur koreksi atmosferik yang dikenal dengan "*haze removal*" (Richards, 1986) atau Dark Pixel (Ritchie & Cooper, 1987). Prosedur ini didasarkan pada asumsi bahwa data citra pada tiap-tiap band memiliki nilai digital (ND) minimum yang mendekati nilai 0 (nol), jika tidak ada gangguan atmosfer  $LR(\lambda)$  dan  $LA(\lambda)$ . Jadi, bila ND suatu band lebih besar dari 0, maka selisih antara 0 dengan ND adalah disebabkan oleh pengaruh atmosfer termasuk gangguan ketuaan sensor (USGS, 1984); Richards, 1986; Ritchie & Cooper 1987). Secara matematis, cara mengurangi pengaruh atmosferik tersebut dinyatakan dalam persamaan, di bawah ini:

$$Y_{ij} = X_{ij} - \text{Bias}_{ij}, \text{ di mana:}$$

- $Y_{ij}$  = ND Band  $i$  tanggal  $j$  setelah pengaruh atmosferik dikoreksi
- $X_{ij}$  = ND Band  $i$  tanggal  $j$  yang belum dikoreksi
- $\text{Bias}_{ij}$  = ND minimum Band  $i$  tanggal  $j$

Walaupun data citra satelit Terra dan Aqua MODIS memiliki resolusi radiometriks yang sama (Tabel 2.1), tetapi respon signal tidak sama sehingga

perlu dikalibrasi terlebih dahulu dengan jalan mengkonversi ND terkoreksi menjadi Nilai Radians (NR). Nilai konversi untuk Band Biru, Hijau, dan Merah pada satelit Terra dan Aqua disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Koefisien untuk mengkonversi ND menjadi NR ( $W.m^{-2}.\mu m^{-1}.sr^{-1}$ ) pada band gelombang tampak citra satelit Terra- and Aqua MODIS,

Satelit	Band -1 (Merah)		Band - 4 (Hijau)		Band - 3 (Biru)	
	Skala	offset	Skala	offset	Skala	offset
Terra	0.0262678	0	0.0189215	0	0.0216817	0
Aqua	0.0286548	0	0.0188667	0	0.0219852	0

Catatan:

- 1).  $NR = ND \text{ terkoreksi} * \text{skala} + \text{offset}$ . ND: Nilai Digital; NR: Nilai Radians.
- 2). Koefisien skala dan offset diperoleh dari Dimitrar Ouzounov, Ph.D (2005), dari NASA Goddard Space Flight Center ([ouzounov@eosdata.gsfc.nasa.gov](mailto:ouzounov@eosdata.gsfc.nasa.gov)).

Model empiris pendugaan konsentrasi klorofil-a perairan Teluk Jakarta dikembangkan dari berbagai persamaan regresi (linier, eksponensial, power, polinomial, dan regresi berganda) antara NR pada panjang gelombang tampak (Band Merah, Hijau dan Biru) dari citra MODIS terhadap konsentrasi klorofil-a. Persamaan yang memberikan nilai determinasi ( $R^2$ ) atau koefisien korelasi tertinggi ( $r$ ) yang secara statistik memenuhi kriteria digunakan sebagai model akhir. Persamaan yang memenuhi syarat secara statistik digunakan untuk memetakan sebaran konsentrasi klorofil-a di perairan Teluk Jakarta.

#### 4. Analisis Kejadian Marak Alga

Dalam penelitian ini, yang dimaksud dengan kejadian marak alga adalah jika konsentrasi klorofil-a pada peta mencapai  $> 10 \text{ mg.m}^{-3}$  dan meliputi  $> \frac{1}{4}$  luasan Teluk Jakarta, atau jika konsentrasi klorofil-a  $> 2.5 \text{ mg.m}^{-3}$ , namun meliputi luasan seluruh perairan Teluk Jakarta.

## HASIL

Pembahasan analisis konsentrasi klorofil-a pada BAB-2 ini berbeda dengan BAB-1, di mana pada BAB-1 pembahasannya merupakan hasil analisis

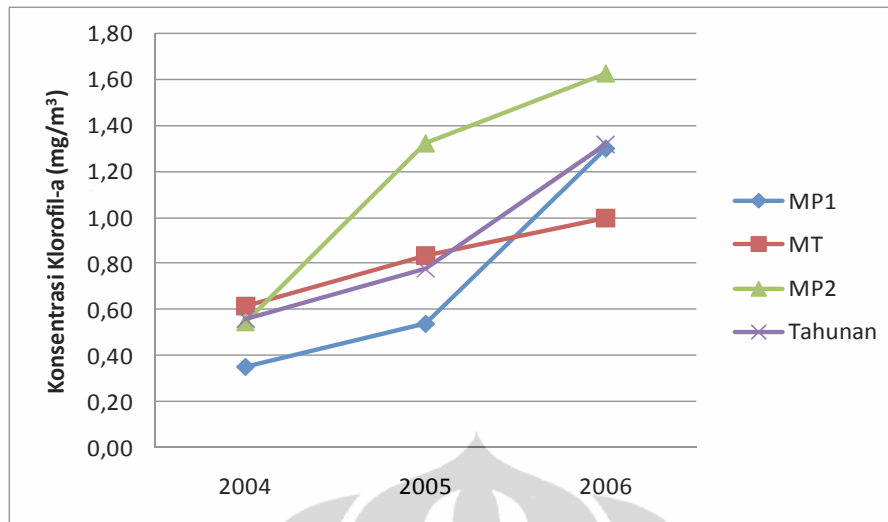
data lapangan dari periode tahun 1970an sampai tahun 2000an antara kecerahan dengan konsentrasi klorofil-a.

Dalam Bab ini (BAB-2) pembahasan ditekankan pada analisis konsentrasi klorofil-a pada periode tahun 2004 sampai periode tahun 2006 baik hasil pengukuran lapangan dan konsentrasi klorofil-a yang diturunkan dari analisis citra satelit MODIS. Data konsentrasi klorofil-a tersebut digunakan lebih lanjut untuk analisis kejadian marak alga dan pengembangan sistem peringatan dini (*early warning system*) marak alga.

### **Konsentrasi Klorofil-a Data Lapangan**

Hasil pengukuran lapangan data konsentrasi klorofil-a yang dikoleksi dari tahun 2004 hingga 2006 disajikan dalam Lampiran 2.1. sejumlah total 1341 data konsentrasi klorofil-a berhasil diukur pada periode 2004-2006. Rangkuman data statistik berupa nilai minimum, maksimum, rerata dan standar deviasi dari Lampiran 2.1. disajikan dalam Tabel 2.3.

Dari Tabel 2.3. terlihat bahwa kisaran konsentrasi klorofil-a tahunan berkisar antara 0,060-10,204 mg/m<sup>3</sup> dengan nilai rerata 0,887 mg/m<sup>3</sup>. Berdasarkan nilai rerata konsentrasi klorofil-a pada Musim Peralihan 1 (MP-1; Maret –April-Mei), Musim Timur (MT; Juni-Juli-Agustus), Musim Peralihan-2 (MP-2: September-Oktober-November) terlihat jelas bahwa konsentrasi klorofil-a terus meningkat dari tahun 2004 ke tahun 2006. Hal ini memperkuat bukti pada hasil penelitian di BAB-1, bahwa dalam jangka waktu yang pendek (tahun 2004-tahun 2006) proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta sedang berlangsung (Gambar 2.3.). Data pada Musim Barat (MB) tidak tersedia kecuali pada tahun 2005.



Gambar 2.3. Konsentrasi klorofil-a berdasarkan musim pada tahun 2004 sampai tahun 2006.

Tabel 2.3. Ringkasan statistik konsentrasi klorofil-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) di perairan Teluk Jakarta berdasarkan musim.

Musim	Statistik	Tahun		
		2004	2005	2006
MP1	Min	0,089	0,052	0,226
	Max	1,785	10,204	7,355
	Rerata	0,354	0,540	1,302
	STD	0,361	1,081	1,142
MT	Min	0,060	0,100	0,226
	Max	3,967	5,151	2,942
	Rerata	0,617	0,836	1,000
	STD	0,610	0,930	0,497
MP2	Min	0,060	0,225	0,582
	Max	3,392	4,526	6,207
	Rerata	0,545	1,323	1,627
	STD	0,492	0,929	1,205
MB	Min	-	0,060	
	Max	-	3,967	
	Rerata	-	1,283	
	STD	-	1,804	
All	Min	0,060	0,052	0,226
	Max	3,967	10,204	7,355
	Rerata	0,562	0,779	1,319
	STD	0,544	1,010	1,047

### Pengembangan Model Pendugaan Konsentrasi Klorofil-a Menggunakan Sensor MODIS

Berbeda dengan BAB-1, di mana kajian menggunakan data citra satelit Landsat yang memiliki lintasan orbit di atas Teluk Jakarta yang berulang setiap 16 hari sekali, pada BAB-2 ini, kajian menggunakan data citra satelit Terra dan Aqua MODIS yang memiliki lintasan orbit dengan basis harian. Hal ini penting karena kejadian marak alga sangat dinamis yang dapat berubah dengan cepat setiap saat, sehingga dengan menggunakan 2 citra satelit tersebut dapat dipantau kejadian marak alga di pagi dan siang hari pada hari yang sama.

Untuk membuat model empiris prediksi konsentrasi klorofil-a perairan Teluk Jakarta digunakan data multi-temporal citra satelit Terra dan Aqua MODIS dari tahun 2004 sampai tahun 2006 (Tabel 2.4.).

Tabel. 2.4. Data yang digunakan untuk membuat model empiris pendugaan konsentrasi klorofil-a perairan Teluk Jakarta.

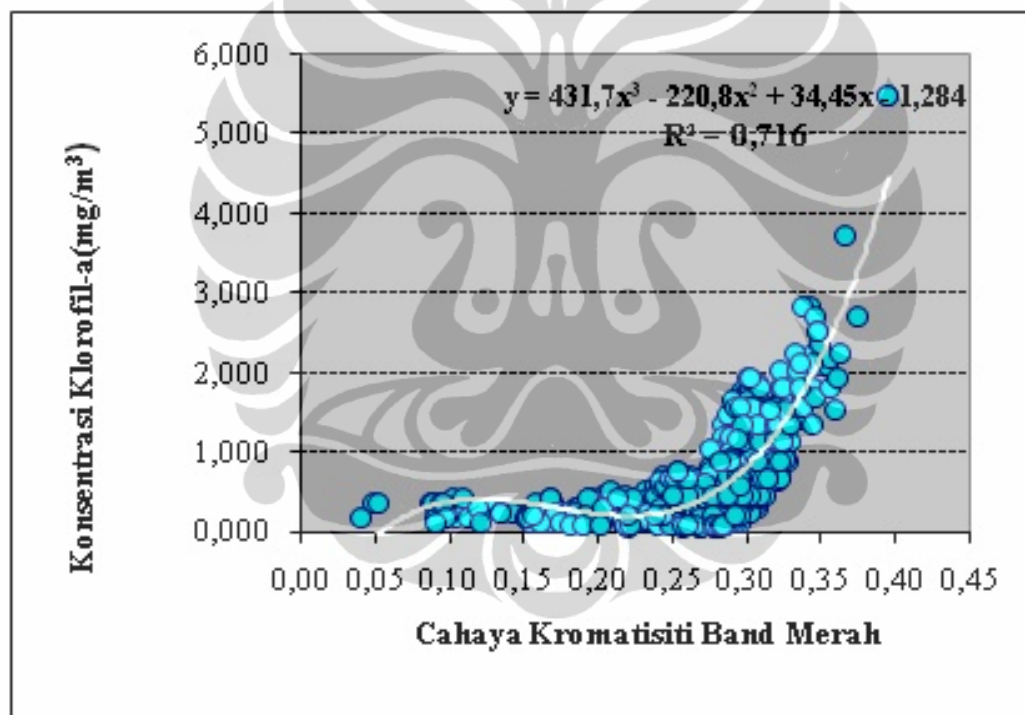
Tahun	Data Citra Satelit		Jumlah Stasiun Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a
	Terra	Aqua	
2004	11	7	414
2005	9	6	262
2006	10	5	197
Total	30	18	873

Dari 1341 data pengukuran lapangan konsentrasi klorofil-a (Lampiran 2.1.) hanya digunakan sejumlah 873 data (Tabel 2.4.) untuk membuat model empiris prediksi konsentrasi klorofil-a. Data sisa lainnya sebagian tidak digunakan, karena mengindikasikan bias, sedangkan sebagian lainnya digunakan untuk memvalidasi model empiris yang dikembangkan.

Pada Lampiran 2.1. disajikan nilai koefisien korelasi hubungan antara konsentrasi klorofil-a terhadap NR, transformasi rasio antar band dan transformasi kromatisiti yang diperoleh menggunakan berbagai bentuk persamaan regresi. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa tidak ada hubungan (hubungan sangat lemah) antara konsentrasi klorofil-a terhadap NR, demikian pula terhadap

transformasi rasio antar band (NR Merah/NR Hijau dan NR Hijau/Biru), dan transformasi kromatisiti (Biru dan Hijau), kecuali rasio band merah/band biru ( $R^2 = 0,50$ ) dan transformasi kromatisiti band merah ( $R^2 = 0,72$ ) yang menggunakan persamaan polinomial orde 3.

Pada Gambar 2.4. ditampilkan model empiris pendugaan konsentrasi klorofil-a perairan Teluk Jakarta. Model tersebut memberikan nilai  $R^2 = 0,716$ , Root Mean Standard (RMS) Error = 0,467, ratio antara Nilai  $F_{hitung}$  dan nilai  $F_{tabel}$  dalam selang kepercayaan 95% adalah  $> 4$ . Oleh karena itu, persamaan regresi polinomial orde3 di atas bisa diterima sebagai model pendugaan, karena model bebas dari bias (Drapper&Smith,1981; Witlock *et al.*, 1982).



Gambar 2.4. Model prediksi klorofil-a berdasarkan Terra dan Aqua Modis Satelit.

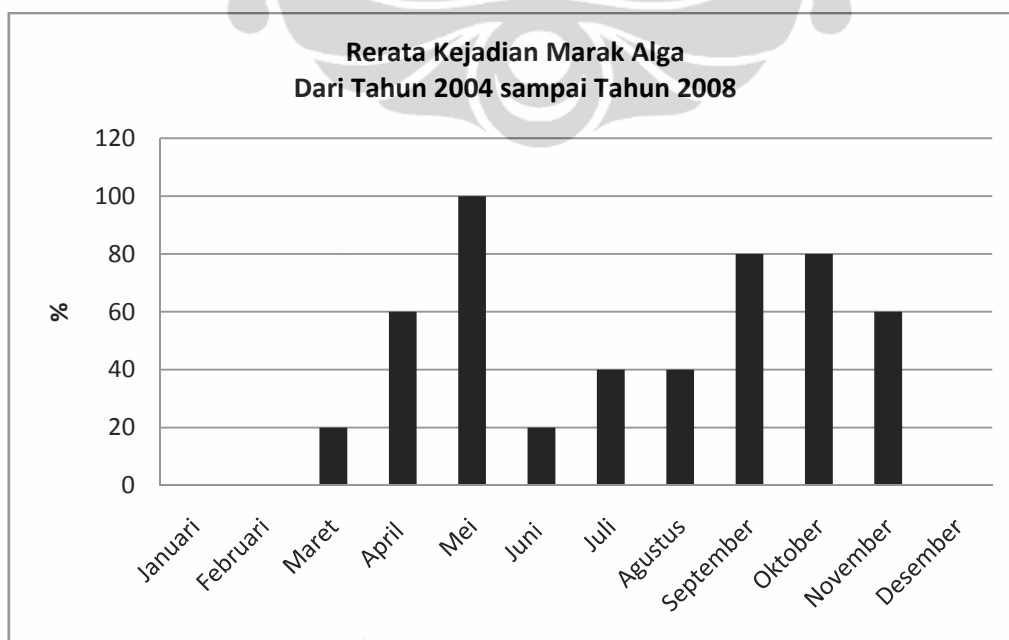
Model tersebut selanjutnya digunakan untuk membuat peta sebaran konsentrasi klorofil-a perairan Teluk Jakarta. Untuk mengkaji kejadian marak alga, maka dalam penelitian ini digunakan peta sebaran konsentrasi klorofil-a tahun 2004 sampai tahun 2006 dan tahun 2007 yang telah dibuat oleh Wouthuyzen *et al.* (2006; 2007) dan yang dibuat Tahun 2008, bulan Mei-Juni dan

November. Sejumlah 313 peta telah diamati untuk menentukan kejadian marak alga, di mana kejadian marak alga sebagaimana yang telah didefinisikan pada metode penelitian ini, yaitu jika konsentrasi klorofil-a  $> 10 \text{ mg/m}^3$  dan sebarannya menutupi  $\geq \frac{1}{4}$  wilayah perairan Teluk Jakarta.

### **Kejadian Marak Alga Berdasarkan Peta Sebaran Konsentrasi Klorofil-a Dan Kelimpahan Fitoplankton**

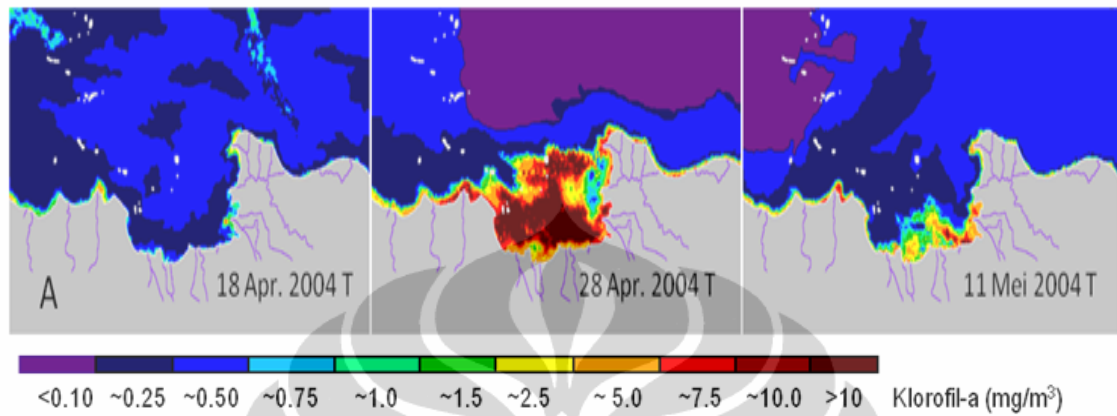
Rekapitulasi kejadian marak alga dari tahun 2004 hingga tahun 2008, ditampilkan pada Tabel 2.6. Dari Tabel 2.6. kejadian marak alga di perairan Teluk Jakarta terjadi dengan persentase tertinggi pada bulan Mei, bulan September dan Oktober (80%), dan berikutnya pada bulan April dan November (60%), sedangkan pada bulan-bulan lainnya prosentase kejadian marak alga lebih kecil dari 40%. Selama periode tahun 2004 hingga tahun 2008 tercatat ada 7 kasus kematian masal ikan di perairan Teluk Jakarta yang disebabkan kejadian marak alga. Dua kasus kematian masal ikan terjadi pada tahun 2004 (Mei dan Desember), 3 kasus terjadi pada tahun 2005 (April, Juni dan Oktober) dan 2 kasus pada tahun 2007 (April dan November), sedangkan pada tahun 2006 dan tahun 2008 tidak ada kejadian kasus kematian masal ikan (Tabel 2.6). Kejadian kematian masal ikan terbesar terjadi antara tanggal 4-7 Mei 2004.

Gambar 2.5. Kejadian Marak Alga di perairan Teluk Jakarta.



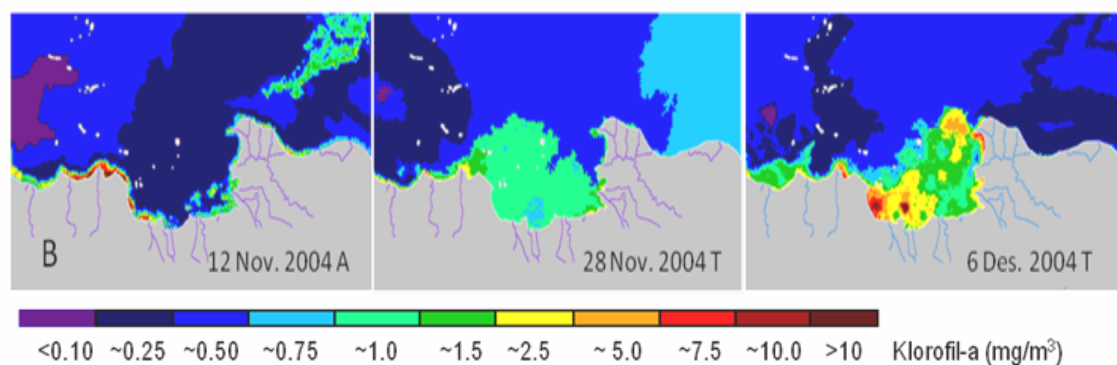


Urutan sebelum, sesaat dan sesudah kejadian marak alga yang diikuti terjadinya kematian masal ikan di perairan Teluk Jakarta ditampilkan pada Gambar 2.6a. Pada umumnya kematian masal ikan terjadi beberapa hari setelah terjadinya marak alga.



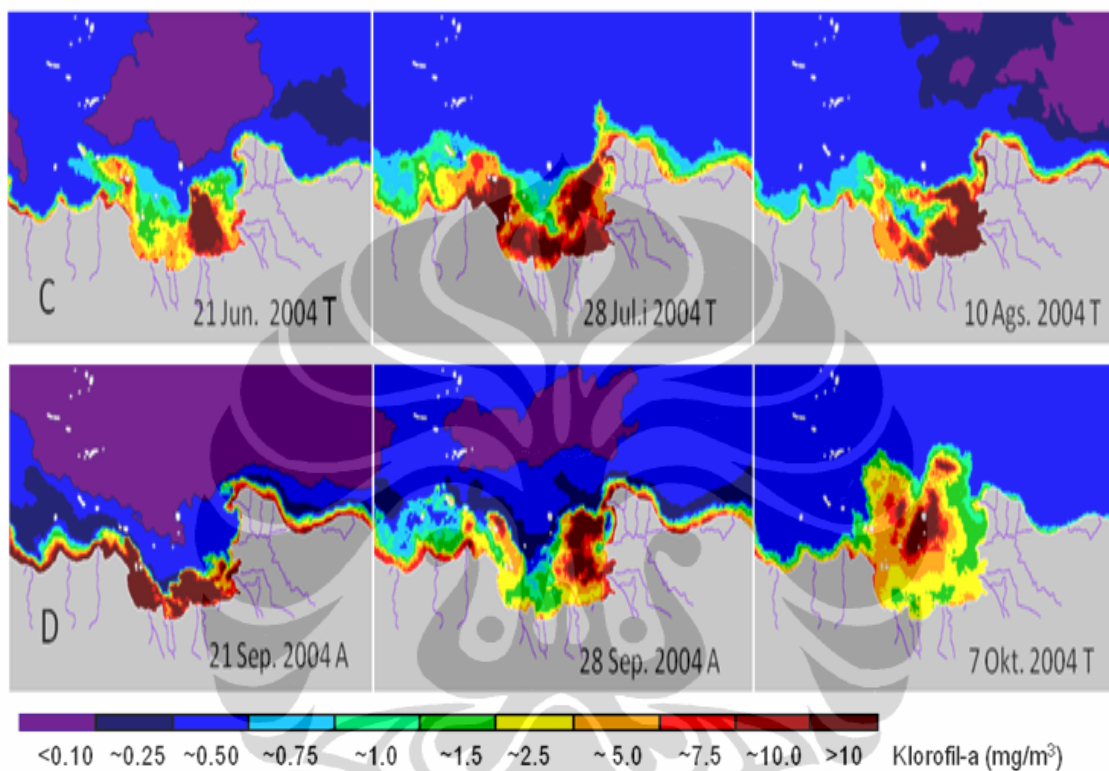
Gambar 2.6a. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

Pada tahun 2004, tanggal 18 April 2004 terlihat bahwa konsentrasi klorofil-a rendah ( $< 0,50 \text{ mg/m}^3$ ) menyebar di perairan Teluk Jakarta. Pada tanggal 28 April 2004, terjadi marak alga yang kuat ( $> 10 \text{ mg/m}^3$ ) menutupi hampir seluruh perairan Teluk Jakarta. Pada tanggal 7 Mei 2004, terjadi kematian masal ikan besar. Pada tanggal 11 Mei 2004, marak alga telah selesai, di mana konsentrasi klorofil-a sudah menurun jauh berkisar  $0,5 \text{ mg/m}^3$ , kecuali di sepanjang garis pantai dijumpai konsentrasi klorofil-a relatif masih tinggi berkisar  $1,5\text{-}2,5 \text{ mg/m}^3$ . Pada saat kejadian marak alga jenis fitoplankton yang mendominasi adalah jenis *Skeletonema costatum*, dengan kepadatan  $188 \times 10^6$  sel/L.



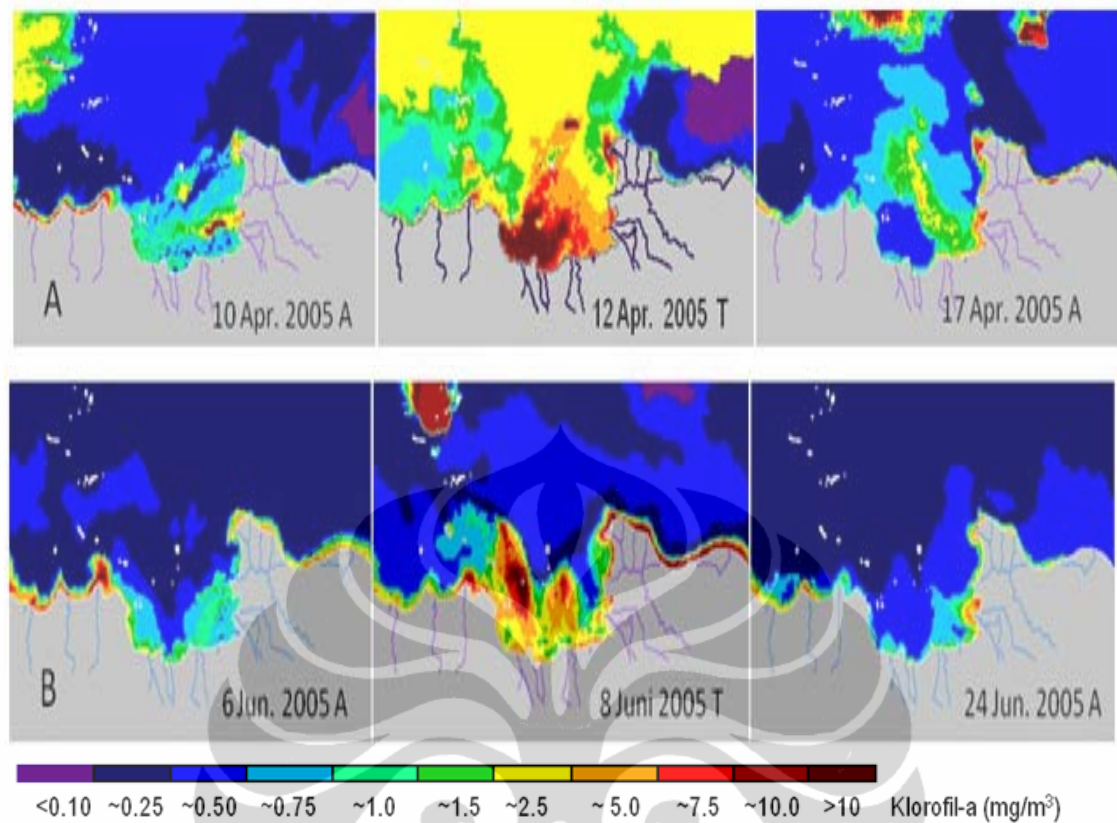
Gambar 2.6b. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

Pada periode tahun yang sama, yaitu pada tanggal 28 November 2004 terjadi marak alga dengan konsentrasi klorofil hanya 1,0 mg/m<sup>3</sup> tetapi terjadi pula kematian ikan (Gambar 2.6b.). Pada saat ini jenis fitoplankton yang mendominasi adalah kelompok diatom (*Thalassosira* sp., *Noctiluca* sp. dan *Pyrocistis* sp.).



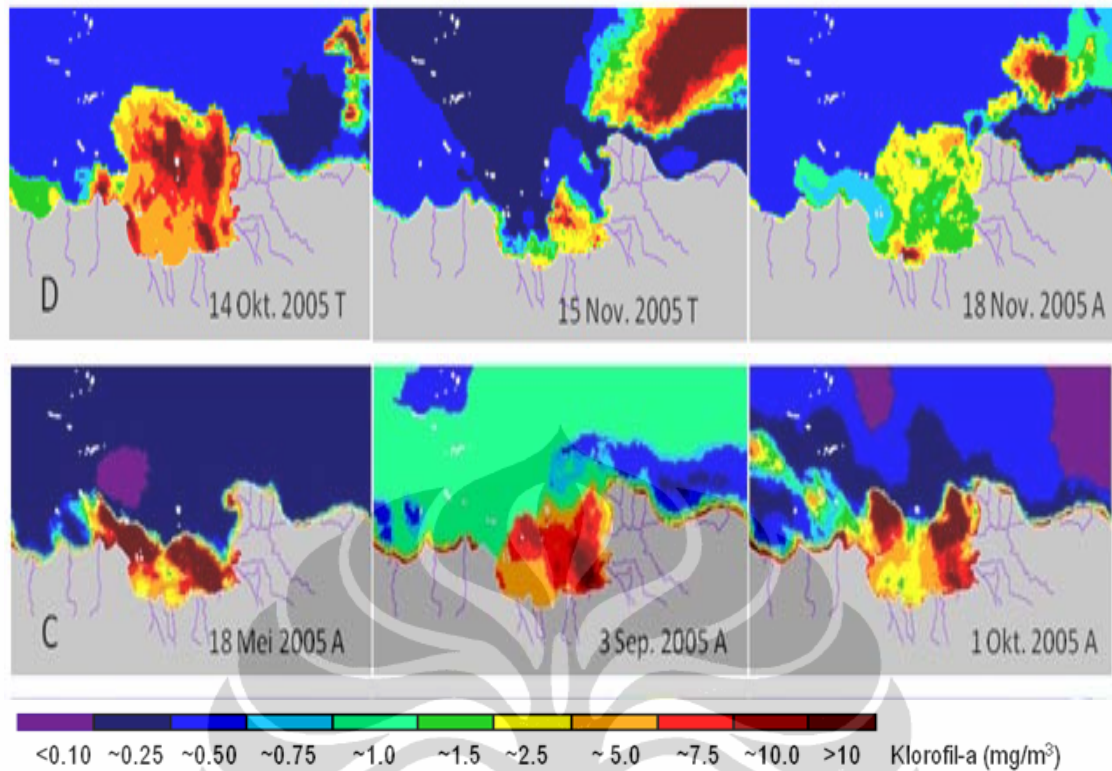
Gambar 2.6c,d. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

Hal yang berlawanan, di mana pada periode 28 Juli 2004 dan 28 September 2004 terjadi marak alga dengan konsentrasi klorofil-a tinggi (> 10 mg/m<sup>3</sup>), tidak ada kematian masal ikan (Gambar 2.6c,d.). Hasil ini menunjukkan bahwasannya tidak selamanya kejadian marak alga kuat terjadi akan diikuti oleh kematian masal ikan.



Gambar 2.7.a,b. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

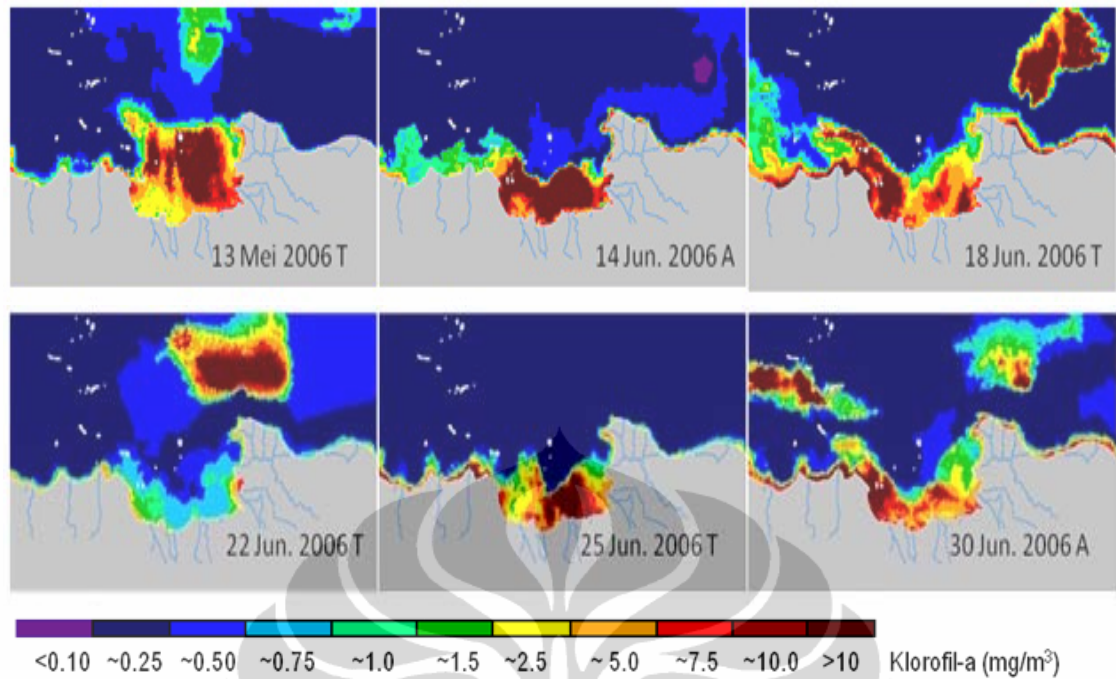
Hasil analisis selanjutnya, pada periode tahun 2005, tanggal 10 April 2005 terlihat bahwa konsentrasi klorofil-a rendah ( $0,25 - 0,50 \text{ mg/m}^3$ ) menyebar di perairan Teluk Jakarta. Kemudian, pada tanggal 12 April 2005, terjadi marak alga yang kuat ( $> 10 \text{ mg/m}^3$ ) namun tidak menutupi seluruh perairan Teluk Jakarta dan fitoplankton yang mendominasi saat itu adalah jenis *Trichodesmium sp.* Pada tanggal 13 April 2005 terjadi kematian masal ikan. Pada tanggal 17 April 2005, marak alga telah selesai, di mana konsentrasi klorofil-a sudah menurun berkisar antara  $0,25 - 2,50 \text{ mg/m}^3$ . Pada tanggal 8 Juni 2005, kejadian terlihat tidak terjadi marak alga tetapi terjadi kematian masal ikan (Gambar 2.7.a,b).



Gambar 2.7.c,d. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

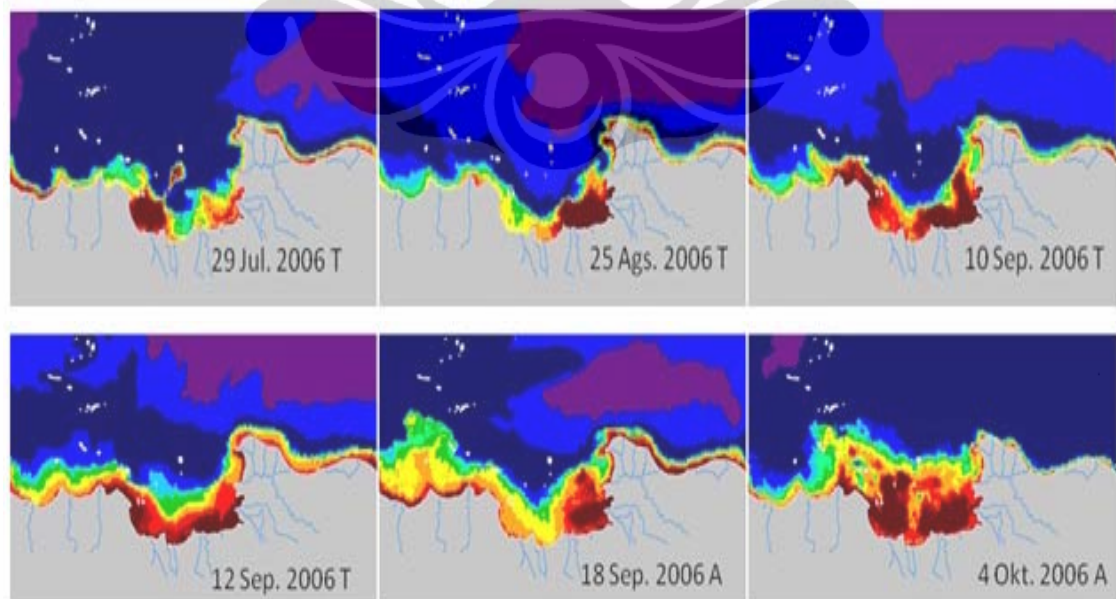
Sementara itu, pada periode tanggal 18 Mei 2005, 3 September 2005, 1 Oktober 2005, dan 14 Oktober 2005, kejadian marak alga dengan konsentrasi klorofil-a tinggi berkisar antara  $7,5 - 10 \text{ mg/m}^3$  dengan sebaran yang tidak merata tetapi tidak ada kematian masal ikan. Kejadian marak alga kuat dengan konsentrasi klorofil-a tinggi ( $> 10 \text{ mg/m}^3$ ) pada tanggal 15 November, di mana sebarannya terjadi di luar perairan Teluk Jakarta tetapi tidak terjadi kematian masal ikan. Berselang 3 hari kemudian, pada tanggal 18 November 2005, konsentrasi klorofil-a telah menurun di luar perairan Teluk Jakarta, diikuti peningkatan konsentrasi klorofil-a di pesisir Teluk Jakarta dengan kisaran  $1,5 - 2,5 \text{ mg/m}^3$ . (Gambar 2.7.c,d).

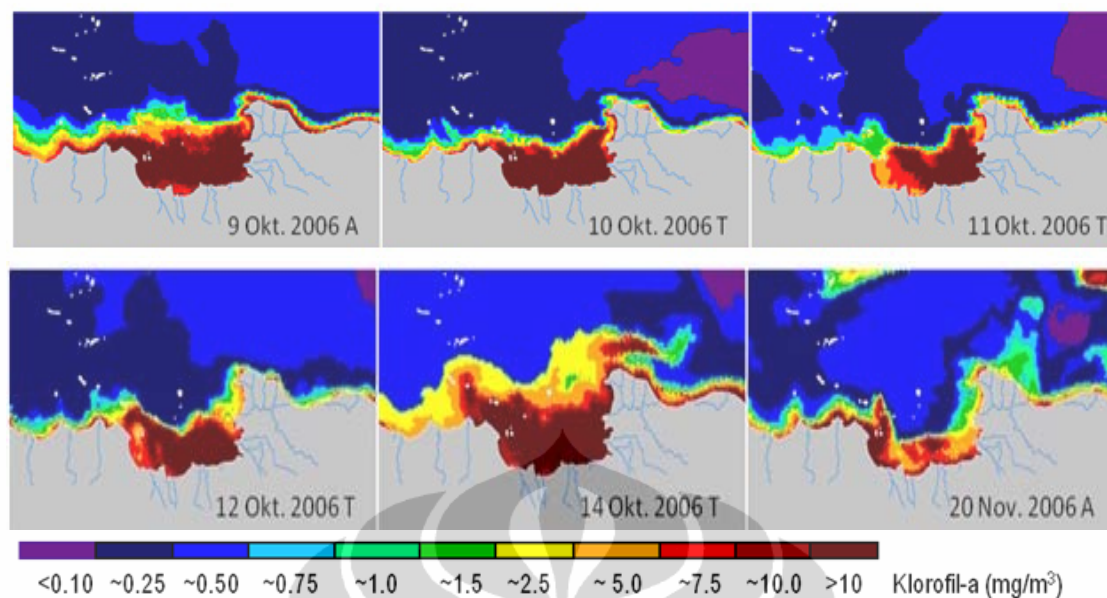




Gambar 2.8. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

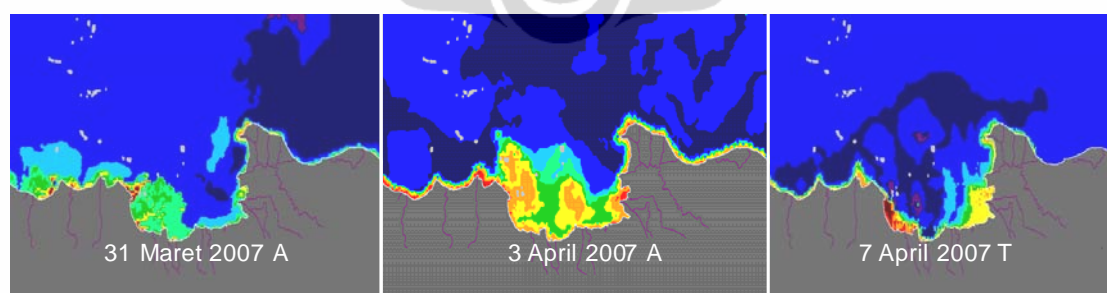
Hasil pengamatan pada periode tahun 2006, pada tanggal 13 Mei 2006 terlihat adanya kejadian marak alga dengan konsentrasi klorofil-a tinggi ( $> 10 \text{ mg/m}^3$ ), terus berlanjut pada tanggal 14 Juni 2006, 18 Juni 2006, 22 Juni 2006, 25 Juni 2006 sampai 30 Juni 2006 (Gambar 2.8.).





Gambar 2.9. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

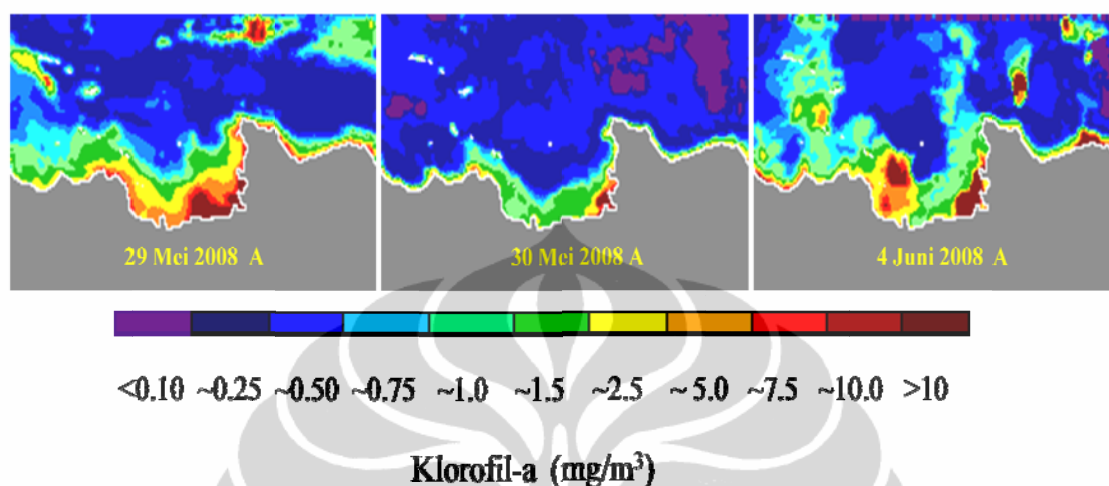
Kemudian terlihat kembali kejadian marak alga pada tanggal 29 Juli 2006 dengan sebaran yang relatif kecil di sebelah barat pesisir perairan Teluk Jakarta, meningkat sebarannya pada tanggal 25 Agustus 2006, 10 September 2006, 12 September 2006, 18 September 2006 dan terus meningkat sebarannya pada tanggal 4 Oktober 2005 sampai 11, 12 Oktober 2006 dan puncaknya pada tanggal 14 Oktober 2006 dengan konsentrasi klorofil-a sangat kuat ( $> 10 \text{ mg/m}^3$ ) dan mulai mengecil sebarannya pada tanggal 20 November 2006 tetapi tidak ada kejadian kematian masal ikan (Gambar 2.9).



Gambar 2.10. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

Pada tahun 2007, tanggal 31 Maret 2007 terlihat konsentrasi klorofil-a rendah ( $0,25 \text{ mg/m}^3$ ). Pada tanggal 3 April 2007 terlihat bahwa konsentrasi klorofil-a meningkat ( $2,50 - 5,0 \text{ mg/m}^3$ ). Walaupun tidak terjadi marak alga kuat,

namun ada kejadian kematian masal ikan. Pada tanggal 7 April 2007 terjadi marak alga telah selesai dengan dominasi sebaran konsentrasi klorofil-a berkisar antara  $0,75 - 1,00 \text{ mg/m}^3$  (Gambar 2.10.).



Gambar 2.11. Peta sebaran klorofil-a yang menunjukkan perkembangan sebelum, saat dan sesudah marak alga.

Pada tahun 2008, tanggal 29 Mei 2008, kejadian marak alga tercatat cukup tinggi di sepanjang pesisir timur Teluk Jakarta ( $> 10 \text{ mg/m}^3$ ), sehari setelah itu pada tanggal 30 Mei 2008 terjadi penurunan konsentrasi klorofil-a ( $1,5 \text{ mg/m}^3$ ) yang mencakup sebagian kecil wilayah pesisir sebelah timur Teluk Jakarta. Pada tanggal 4 Juni 2008, terjadi kembali peningkatan konsentrasi klorofil-a ( $7,5 - 10 \text{ mg/m}^3$ ) di beberapa titik di perairan Teluk Jakarta (Gambar 2.11). Pada periode tahun 2008, walaupun konsentrasi klorofil-a relatif tinggi, tetapi tidak menyebabkan kematian masal ikan.

Hasil analisis dengan memetakan tanggal kejadian marak alga dengan konsentrasi klorofil-a sebelum dan sesudah kejadian terlihat adanya pola kematian masal ikan, di mana kebanyakan kasus kematian masal ikan terjadi setelah kejadian marak alga. Maka kejadian marak alga yang tinggi ditemukan pada bulan April sampai Mei (musim peralihan dari musim hujan ke musim panas) dan pada bulan September hingga Oktober (musim peralihan dari musim panas ke musim hujan).

Dari hasil analisis kejadian marak alga yang dikaitkan dengan kematian massal ikan, maka didapat suatu pola yang konsisten, yaitu ditemukan konsentrasi klorofil-a rendah sebelum marak alga terjadi, konsentrasi mencapai puncak  $\geq 10 \text{ mg/m}^3$  pada saat marak alga, dan kembali menjadi rendah setelah marak alga selesai. Dengan mengaplikasikan pola ini, maka penyusunan sistem peringatan dini bencana marak alga yang hingga saat ini hanya didasari atas pengelompokan konsentrasi klorofil-a ke dalam tiga kelompok, yaitu konsentrasi klorofil-a rendah ( $0.25 \sim 5.0 \text{ mg/m}^3$ ) yang setara dengan kondisi aman, konsentrasi sedang ( $5.0 \sim 7.5 \text{ mg/m}^3$ ) yang setara dengan kondisi siaga dan konsentrasi tinggi ( $\geq 10 \text{ mg/m}^3$ ) atau setara dengan kondisi bahaya marak alga, tampaknya memberikan hasil yang cukup baik dan sesuai dengan kenyataan di lapangan (*fit/match*). Berdasarkan kategori konsentrasi klorofil-a tersebut di atas, disajikan pada Tabel 2.7.

Pada tahun 2007, kelimpahan fitoplankton adalah  $8.8 \times 10^5 \text{ sel/L}$  dengan spesies yang dominan adalah *Skeletonema costatum* dan *Chaetoceros* sp. (Gambar 2.12.)

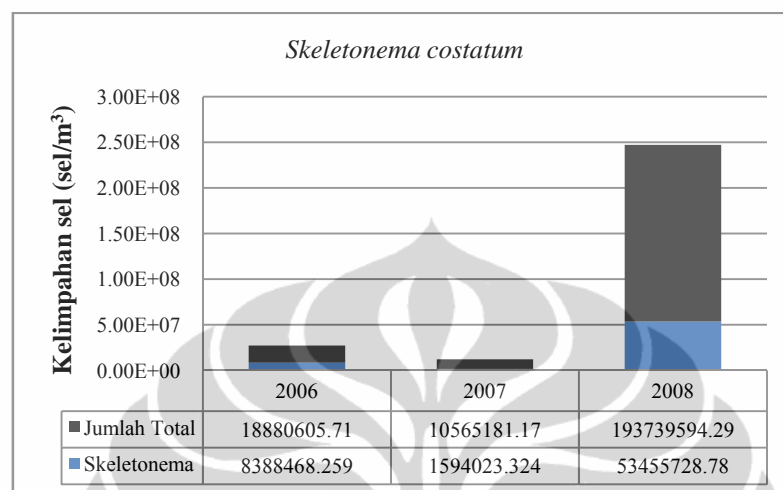
Tabel 2.5. Kategori kejadian marak alga berdasarkan konsentrasi klorofil-a di perairan Teluk Jakarta.

KONDISI : → AMAN						SIAGA			BAHAYA	
< 0.10	~ 0.25	~ 0.50	~ 0.75	~ 1.0	~ 1.5	~ 2.5	~ 5.0	~ 7.5	~ 10.0	> 10.0
1. Konsentrasi Klorofil-a ( $\text{mg/m}^3$ ) dari citra MODIS										
2. Konsentrasi Klorofil-a dari data Meteorologi										
3. Jenis dan Kelimpahan Fitoplankton :										
- Non-Harmful Algae (Diatom)						$< 10^5 \text{ sel/liter}$			$10^5 \sim 10^6$	
- Harmful Algae (Dinoflagelata)						$< 10^3 \text{ sel/liter}$			---	
4 Oksigen Terlarut						$> 3 \text{ mg/liter}$			2-3	
5. Perbedaan Tinggi Pasut						$> 0.5 \text{ m}$			$< 2$	
6. Kecepatan Arus						Kencang			Lemah	

Kondisi ini mirip dengan yang terjadi pada saat kematian ikan tahun 2007, di lokasi yang sama pada tanggal 2 Desember 2004. Selain itu, kisaran konsentrasi klorofil-a 4 hari sebelum kematian ikan (28 November 2004) mirip dengan kisaran klorofil-a pada tanggal 15 November 2007, yaitu antara 1.5-2.5



mg/m<sup>3</sup>. Dari hasil pencacahan fitoplankton tidak didapatkan jenis yang berbahaya (Lampiran 2.2a-2.2c). Dari hasil pemantauan kandungan oksigen terlarut, ada beberapa lokasi yang sangat rendah (< 2 mg/L).



Gambar 2.12. Kelimpahan fitoplankton jenis *Skeletonema costatum* di perairan Teluk Jakarta.

Selanjutnya, hasil analisis kejadian marak alga yang dikaitkan dengan kematian massal ikan, maka didapat suatu pola yang konsisten dengan kelimpahan fitoplankton. Pola kelimpahan fitoplankton dan konsentrasi klorofil-a juga dapat dijadikan salah satu indikator penyusunan sistem peringatan dini berdasarkan jenis fitoplankton, jumlah sel dan kategorisasi tingkat kejadian marak alga. Jenis fitoplankton dikelompokkan ke dalam 2 jenis, yaitu jenis yang tidak berbahaya (diatom/dinoflagelata) dan jenis yang berbahaya (dinoflagelata). Dari jenis yang tidak berbahaya dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yaitu bila jumlah kelimpahan fitoplankton sangat tinggi ( $> 10^6$  sel/L), maka kejadian marak alga dikategorikan dalam kondisi berbahaya, bila kelimpahan fitoplankton sedang ( $10^4$ - $10^6$  sel/L), maka kejadian marak alga dikategorikan dalam kondisi siaga dan bila kelimpahan fitoplankton  $< 10^4$  sel/L, maka kejadian marak alga dikategorikan dalam kondisi aman.

Untuk jenis fitoplankton yang berbahaya dikelompokkan menjadi 2 kategori, yaitu dengan jumlah kelimpahan fitoplankton tinggi ( $> 10^3$  sel/L), maka kejadian marak alga dikategorikan dalam kondisi berbahaya dan bila jumlah kelimpahan

fitoplankton rendah ( $< 10^3$  sel/L), maka kejadian marak alga dikategorikan dalam kondisi aman, seperti yang disajikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.6. Kategori kelimpahan jenis fitoplankton.

<b>Jenis Fitoplankton</b>	<b>Jumlah Sel</b>	<b>Kategori</b>
Tidak berbahaya (Diatom/Dinoflagelata)	$> 10^6$ sel/liter	<b><i>Bahaya</i></b>
	$10^4 - 10^6$ sel/liter	<b><i>Siaga</i></b>
	$< 10^4$ sel/liter	<b><i>Aman</i></b>
Berbahaya (Dinoflagelata)	$> 10^3$ sel/liter	<b><i>Bahaya</i></b>
	$< 10^3$ sel/liter	<b><i>Aman</i></b>

## PEMBAHASAN

Dari Gambar 2.3. terlihat pula bahwa nilai rerata konsentrasi klorofil-a pada MP-2 memiliki kecenderungan lebih tinggi dibandingkan musim-musim lainnya. Pada MP-2, masih dipengaruhi oleh MT, di mana pada musim ini angin bertiup kuat dari arah Timur ke arah Barat dalam jangka waktu yang cukup lama. Hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan massa air dari perairan dasar naik ke permukaan yang turut pula membawa zat hara yang tinggi dari dasar perairan naik ke permukaan, sehingga zat hara yang tinggi tersebut dimanfaatkan oleh fitoplankton dalam pertumbuhannya yang diindikasikan dengan tingginya konsentrasi klorofil-a. Pada MT sebenarnya pasokan zat hara dari darat yang masuk melalui sungai lebih sedikit dibandingkan MB.

Untuk mengkaji lebih lanjut fenomena kejadian marak alga berdasarkan konsentrasi klorofil-a pada musim yang ada, maka dibuat peta-peta sebaran konsentrasi klorofil-a dari citra satelit MODIS. Dalam kajian ini, hanya 3 Band MODIS tampak yang digunakan, yaitu Band-1 pada wilayah spektrum Band Merah (0,620 – 0,670 nm), Band-4 pada wilayah spektrum Band Hijau (0,545 – 0,600 nm), dan pada wilayah spektrum Band Biru (0,459 – 0,479 nm). Pertimbangan tidak digunakannya band khusus untuk warna perairan laut (Band 8-16), yaitu pertama disebabkan resolusi spasial band tersebut meluas (1000 m),

dibandingkan dengan band yang digunakan untuk aplikasi daratan (500 m). Jadi Teluk Jakarta akan terlihat terlalu kecil. Kedua, band-band dan algoritmanya hanya cocok untuk perairan samudera, yang dikategorikan sebagai perairan-1 (*case-1 waters*) atau perairan lepas (*off shore*), sementara perairan Teluk Jakarta dikategorikan sebagai perairan-2 (*Case-2 waters*) atau perairan pantai (*inshore*) yang kompleks (IOCCG, 2000; Gao *et al.*, 2007).

Hasil analisis dan pengamatan dari 313 peta sebaran konsentrasi klorofil-a sejak tahun 2004 sampai tahun 2008 yang menggunakan model pendugaan seperti pada Gambar 2.4., kemudian peta-peta tersebut digunakan untuk memantau kejadian marak alga di perairan Teluk Jakarta. Beberapa kasus kejadian marak alga yang ditandai dengan tingginya konsentrasi klorofil-a ( $> 10 \text{ mg/m}^3$ ) di perairan Teluk Jakarta ternyata tidak selalu diikuti terjadinya kematian masal ikan, seperti hasil pengamatan pada tahun 2006 (Gambar 2.7.). Hal ini memperlihatkan kompleksitasnya perairan Teluk Jakarta, di mana banyak faktor lingkungan yang mempengaruhinya (parameter meteorologi: suhu udara, curah hujan, kecepatan dan arah angin), seperti yang terjadi di Teluk Manila-Filipina yang bersifat perairan semi-tertutup (*semi-closed coastal waters*) (Chang *et al.*, 2009).

Berdasarkan kasus kejadian marak alga pada tahun 2006 di perairan Teluk Jakarta, di mana 3 kali kejadian marak alga berukuran besar, pada tanggal 13 Mei 2006, 14 Juni 2006 dan 10 Oktober 2006, ternyata indikator kejadian marak alga berdasarkan konsentrasi klorofil-a dan jumlah kelimpahan fitoplankton belum dapat memberikan jawaban akan terjadinya kematian masal ikan, sehingga perlu mencari indikator lain yang lebih efektif dan efisien dalam mengantisipasi meningkatnya kejadian marak alga (Gilbert *et al.*, 2005; Jinhui 2005).

Sementara itu, proses kejadian marak alga yang berdasarkan kelimpahan fitoplankton yang dinyatakan dalam konsentrasi klorofil-a sangat dipengaruhi kondisi proses biogeokimia (*biogeochemical process*) di perairan saat itu yang sangat kompleks sebagai suatu mata rantai jaring makanan (*food web*) (Lee, 1992; Richardson 1995; Pikney *et al.*, 1998; Ferriera, 2000; Cloern & Dufford, 2005; Daniel *et al.*, 2005; Ferriera *et al.*, 2005; Hupert *et al.*, 2005; Jensen *et al.*, 2007; Gilbert *et al.*, 2008).

Sebagaimana diketahui bahwa kematian masal ikan dapat disebabkan oleh kondisi di mana kadar oksigen terlarut di perairan yang sangat rendah ( $< 2$  ml/L) (*hypoxia*). Kasus pada tahun 2006, tidak adanya kematian masal ikan saat marak alga besar diduga karena: (1) Jenis mikroalga yang saat marak alga terjadi bukan jenis yang berbahaya (*harmless*) dan (2) Pada saat marak alga dan sesaat setelah kejadian tersebut, perairan Teluk Jakarta mendapat pasokan oksigen terlarut baru dengan kandungan oksigen tinggi yang dibawa oleh suatu masa air, sehingga menyebabkan nilai kandungan oksigen dasar perairan pada lokasi marak alga menjadi tinggi dan ikan terbebas dari perangkap wilayah yang beroksigen rendah.

Oleh karena itu, pemantauan kadar oksigen terlarut pada dasar perairan merupakan hal penting yang dapat memberikan kontribusi keakurasian sistem peringatan dini marak alga, tetapi hal ini tidak efektif dan biaya mahal sehingga digunakan pola arus dengan melihat dari perbedaan pasang surut di perairan Teluk Jakarta (Baganti, 1997).

Dari Lampiran 2.4., terlihat adanya perbedaan nilai tinggi rendah pasang surut yang besar ( $> 0,5$  dm), sehingga pergerakan masa air cukup tinggi yang tidak menyebabkan terjadinya kematian masal ikan. Hal ini terjadi seperti yang terjadi di perairan Hongkong, kejadian marak alga sering ditandai pula dengan kondisi laut yang sangat tenang dan tidak ada pergerakan massa air (*unusual calm sea state*) beberapa hari sebelumnya (Lee *et al.*, 2005; Wong *et al.*, 2007).

Pengembangan konsep pemodelan pendeteksian dini kejadian marak alga, biasanya dilakukan dengan menggunakan sebaran konsentrasi klorofil-a yang dihasilkan dari data citra multi-temporal Terra- dan Aqua- MODIS dan dengan memanfaatkan data pasang surut yang tersedia secara mudah didapat dari Dinas Hidro Oseanografi (Dishidros)-TNI AL, dapat dijadikan salah satu parameter untuk pengembangan sistem peringatan dini secara masal untuk memantau kejadian marak alga di perairan Teluk Jakarta dapat dideteksi dan dipantau, sehingga antisipasi ke depan dapat disiapkan dengan sebaik mungkin.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan, bahwa:

1. Pemetaan konsentrasi dan distribusi klorofil-a dengan menggunakan teknik penginderaan jarak jauh (citra satelit Terra dan Aqua MODIS) dapat digunakan sebagai indikator marak alga di perairan Teluk Jakarta.
2. Kejadian kematian masal ikan di perairan Teluk Jakarta dapat dipantau dan dievaluasi dengan data citra MODIS.
3. Nilai kandungan klorofil-a lebih besar dari  $10 \text{ mg/m}^3$  yang terjadi pada Musim Peralihan (Hujan-Kemarau-Hujan) dapat dijadikan sebagai acuan dalam perancangan sistem pendeteksian dini (*early warning system*) yang dapat diaplikasikan ke masyarakat pemangku kepentingan (*stake holder*) atau pengguna (*user*) perairan Teluk Jakarta.

### B. Saran

1. Untuk mengetahui kejadian marak alga perairan Teluk Jakarta, perlu dilakukan pemantauan dan pengamatan secara konsisten dan berkelanjutan. Pemantaun dapat dilakukan secara sangat sederhana dengan menggunakan parameter konsentrasi klorofil-a yang dikombinasikan dengan pemanfaatan teknologi penginderaan jarak jauh yang tersedia (*remote sensing*), khususnya citra satelit MODIS.
2. Untuk mengetahui tingkat bahaya kejadian marak alga perlu adanya upaya pemantauan dengan mengidentifikasi jenis fitoplankton yang sedang marak, Apakah dari kelompok yang dapat membahayakan kesehatan manusia (*harmful species; dinoflagelatta*).
3. Pemerintah perlu lebih meningkatkan kewaspadaannya terhadap kejadian marak alga, karena dapat menghancurkan perekonomian dan mengakibatkan kematian manusia sehingga perlu membuat mitigasi kejadian marak alga.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada: Kementerian Negara Riset dan Teknologi yang telah memberikan beasiswa untuk melanjutkan penelitian ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Dr. Idwan Suhardi (Deputi Pendayagunaan Iptek), Ir. Kemal Prihatman, M.Eng., yang telah memberikan izin selama menyelesaikan studi ini. Tak lupa kami ucapkan pula terima kasih sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Sam Wouthuyzen, MSc., APU (P2O-LIPI) yang telah mengizinkan penggunaan data lapangan dan data citra satelit dalam penelitian ini, dan kepada Ladsweb.nascom.nasa.gov yang telah memberikan banyak data citra satelit Terra dan Aqua MODIS. Demikian pula kepada rekan-rekan sejawat Ir. Tumpak Sidabutar, MSc., Drs. Salam Tarigan, MSi. yang membantu analisis data fitoplankton dan teknisi (saudara Izaak Nikijuluw, Johannes Lakalete, Salim Picalohata, dan Abdullah Salatalohy) yang telah membantu pekerjaan di lapangan.

## DAFTAR ACUAN

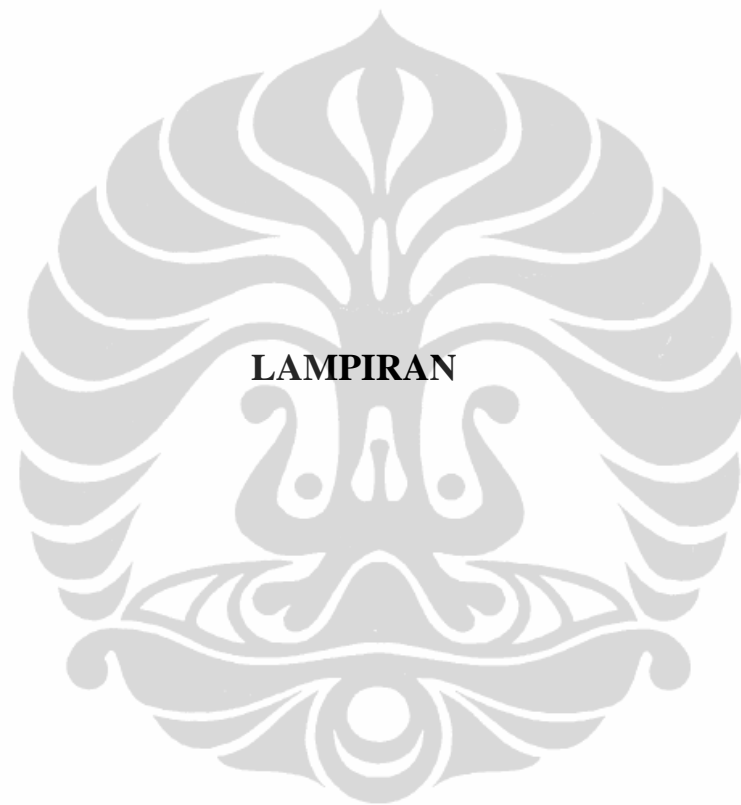
- Adnan, Q. 2003. Eutrofikasi dan akibatnya bagi kehidupan di perairan Indonesia Alternatif dampak berbagai kegiatan pembangunan metropolitan. *P2O-LIPI*, Jakarta: 32 hlm.
- Anderson, D.M., P.M. Gilbert & J.M. Burkholder. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition and consequences. *Estuaries* **25**: 704-726.
- Anderson, D.M. 2008. The growing problem of Harmful Alga. *Oceanus* WHOI. March 9th, 2008. <http://www.whoi.edu/oceanus/viewarticle>
- Baganti, W.S. 1997. Model numerik penyebaran diatom 2 Dimensi horizontal di Teluk Jakarta. Skripsi. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. ITB.
- Chang, K.H., A. Amano, W.M. Todd. T. Isobe, R. Maneja, F.P. Siringan, H. Imai & S. Nakano. 2009. Pollution study in Manila Bay: Eutrophication and its Impacts on Plankton Community. *Interdisciplinary studies on Environmental Chemistry-Environmental Research in Asia*, Eds., Y. Obayashi, T. Isobe, A. Subramanian, S. Suzuki & S. Tanabe, pp. 261-267.
- Cloern, J.E & R. Dufford. 2005. Phytoplankton community ecology: Principles applied in San Francisco Bay. *Marine Ecology Program Service* **283**(11):11-28.

- Daniels, R.M., T.L. Richardson & H.W. Ducklow. 2006. Food web structure and biogeochemical processes during oceanic phytoplankton blooms: An inverse model analysis. *Deep Sea Research II* **53** (3-7): 532-554.
- Draper, N.R. & H. Smith. 1981. *Applied regression analysis*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley and Sons. 709 p.
- EUROHAB. 1999. European Initiative on Harmful Algal Blooms (EUROHAB): Harmful Alga Blooms In European Marine and Brackish Water. E. Graneli, G.A. Codd, B. Dale, E. Lipiataou, S.Y. Maestrini and H. Rosenthal, eds. *European Commission, Directorate General Science Research and Development*, Brussels: 93pp.
- European Commission. 2003. *The EU-US Scientific Initiative on Harmful Alga Blooms: A Report from a Workshop Jointly Funded by the European Commission -Environment and Sustainable Development Programme and The U.S National Science Foundation*, 5-8 September 2003-Trieste, Italy. European Commission, Brussels:57pp.
- Ferianita, M, H. Haeruman & L.C. Sitepu. 2005. Komunitas Fitoplankton Sebagai Bio-Indikator Kualitas Perairan Teluk Jakarta. *Seminar Nasional MIPA, FMIPA-UI*, 24-26 November 2000.
- Ferreira, J.G. 2000. Development of an estuarine quality index based on key physical and biogeochemical features. *Ocean and coastal management* **43**:99-122.
- Ferreira, J.G. W.J. Wolf, T.C. Simas & S.B. Bricker. 2005. Does biodiversity of estuarine phytoplankton depend on hydrology?. *Ecological Modeling* **187**:513-523.
- Gao, B.C., M.J. Montes, R.R. Li, H.M. Dierssen & C.O. Davis. 2007. An atmospheric correction for remote sensing of bright coastal water using MODIS land and ocean channels in the solar spectral region. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* **45**(6):1835-1843.
- GEOHAB. 2005. *Global Europe Research Project: HAB in Upwelling System*. G. Pitcher, T. Moita, V. Trainer, R. Kundela, F. Figuieras and T. Probyn (eds.). SCOR and IOC, Baltimore and Paris.
- GEOHAB. 2003. *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Implementation Plan*. P. Gentien, G. Pitcher, A. Cembella and P. Glibert (eds). SCOR and IOC, Baltimore and Paris:36pp.
- GEOHAB. 2001. *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan*. P. Glibert & G. Pitcher, eds. SCOR and IOC, Baltimore and Paris: 86pp.
- Gilbert, P.M., J.M. Burkholder, E. Graneli & D.M. Anderson. 2008. Advances and insights in the complex relationships between eutrophication and HABS: Preface to special issue. *Harmful Algae* **8**:1-2.
- Gilbert, P.M., D.M. Andersen, P. Gentien, E. Graneli & K.G. Shellner. 2005. The Global, Complex Phenomena of Harmful Algal Blooms. *Oceanography* **18** (2):137-147.

- Hallegraeff, G.M. 1992. Harmful algal blooms in the Australian Region. *Marine Pollution Bulletin* **25**:186-190.
- Hu, C., Z.Chen, T.D. Clayton, P. Swarzenski, J.C. Brock & F.E. Muller-Karger. 2004. Assesment of estuaries waters quality indicators using MODIS medium/resolution band: Initial result from Tampa Bay. *Remote Sensing of Env.* **93**: 423-441.
- Huppert, A., B. Blasius, R. Olinky & L. Stone. 2005. A model for seasonal phytoplankton blooms. *Journal of Theoretical Biology* **236**(3): 276-290.
- IOCCG, 2000. Remote sensing of Ocean Color in Coastal and Other Optically-Complex Waters. Sathyendranath, S. (ed.) Report of The International Ocean-Colour Coordinating Group. No.3. IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Jensen, D.K., A.L. Middleboe, J. Carstensen & K. Dahl. 2007. Spatial pattern of macroalgal Abundance in relation to eutrophication. *Marine Biology* **152**:25-36.
- Jinhui, W. 2005. The ecological engineering of HAB: Prevention, control, and mitigation of harmful algal blooms. *Electronic Journal of Biology* **1**(2): 27-30.
- Kirkpartrick, B. L.E. Flemming, D. Squicciarini, L.C. Baker, R. Clark, W. Abraham, J. Benson, Y.S. Cheng, D. Johnson, R. Pierce, J. Zaias, G.D. Bossart & D.G. Baden. 2004. Literature review of Florida red tide: Implication for human healths effects, *Harmful Algae* **3**:90-115.
- Lee Chen, Y.I. 1992. Summer phytoplankton community structure in the Kuroshio current related upwelling Northeast of Taiwan. *TAO* **3**(3):305-320.
- Lee, J.W.H., I.J. Hodgkiss, K.T.M. Wong & I.H.J. Lam. 2005. Real time observations of coastal algal blooms by early warning system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **65**:172-190.
- Lee, J.W.H. & Qu, B. 2004. Hydrodynamic tracking of the massive spring 1998 red tide in Hongkong. *Journal Of Environmental Engineering. ASCE* **130**: 535-550.
- Pinckney, J.L., H.W. Paerl, M.B. Harrington & K.E. Howe.. 1998. Annual Cycles of Phytoplankton Community Structure and Blooms Dynamics in the Neuse River Estuary, North Carolina. *Marine Biology* **131**:371-381.
- Richardson, K. 1997. Harmful or exceptional phytoplankton blooms in the marine ecosystem. *Advanced Marine Biology* **31**:301-385.
- SEAFDC. 1984. Toxic red tides and shellfish toxicity in Southeast Asia. *Proceeding Of Consultative Meeting Held in Singapore, 11-14 September 1984.* (Alan W., Matsateru Anraku, Kok-Kuang Hooi eds.):33pp.
- Smayda, T.J., 1997. What is a bloom? A commentary. *Limnology and Oceanography*, **42** (52): 1132-1136.
- Strickland, J.D.H & Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Fishery Researh Board Canadian Bulletin* **167**: 311p.



- Sumadhiharga, O.K. (1977). Bencana air merah yang mematikan banyak ikan di Teluk Kao, Halmahera. *Lonawarta* **2**:10-17.
- Tan, C.K. 2007. *Harmful Algal Blooms Monitoring Via Satellite in Northern Borneo. Asia Monitor. UNU e-Newsletter. Issue 20, March 2007.*
- Tangen, K. 1978. Nets. In : *Phytoplankton Manual ed. A.Sournia*. UNESCO: 50-58.
- Thronsdon, J. 1978. Preservation and storage. In : *Phytoplankton Manual ed. A. Sournia*. UNESCO: 69-87.
- UNESCO. 1995. Manual on Harmful Marine Microalga. *IOC. Manual and Guides* (G.M. Halegraeff, D.M. Anderson and A.D. Cembella eds.). France:555pp.
- USGS, 1984. Landsat 4 data user hand book, USGS and NOAA.
- Walters, T.R. 1985. Algorithms for the determination of near-surface chlorophyll-a and semi-quantitative total suspended solids in South African coastal water from Nimbus-7 CZCS. In: *South African Ocean Colour and Upwelling Experiment*. Shannon, L.V.(ed.):175-182.
- WESTPAC/IOC/UNESCO, 2000.
- Wiadnyana, N.N., T.Sidabutar, K.Matsuoka, T.Ochi, M.Kodama & Y.Fukuyo. 1996. *Notes on the occurrence of Pyrodinium bahamense in eastern Indonesian waters*. Harmful and Toxic Algal Blooms. Proc. Of 7<sup>th</sup> Inter. Conf. On Toxic Phytoplankton, Sendai, Japan. 12-16 July 1995: 53 -56.
- Witlock, C.H., C.Y. Kuwo & S.R. Le Croy. 1982. Criteria for the use regression analysis for remote sensing sediment and pollutants. *Remote sensing of Environment* **12**: 151-165.
- Wong, K.T.M., H.W.L. Joseph & I.J. Hodgkiss. 2007. A simple for forecast of coastal algal blooms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **74**, 1-2, 175-196.
- Wouthuyzen, S., S. Tarigan, R. Kusmanto, H. Indarto, E. Supama, I. Raharusun & J. Lakalet. 2006. *Peta kualitas perairan Teluk Jakarta (Konsentrasi Klorofil-a)*. Proyek Kompetitif-LIPI, Jakarta:61 pp.
- Wouthuyzen, S., S. Tarigan, T. Sidabutar, A. Sediadi, C.K. Tan & Joji Ishizaka. 2008. Monitoring Algal Blooms and Development of Early Detection of Massive Fish Kills in the Jakarta Bay. *Presented in 7th IOC/WESPAC International Scientific Symposium, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, 21-23 May 2008.*
- Wouthuyzen, S., C.K.Tan, J. Ishizaka, T.P.H. Son, V. Ransi & A. Sediadi. 2007. *Monitoring of Algal Blooms and Massive Fish Kill in the Jakarta Bay, Indonesia Using Satellite Imageries. Proceeding of The first Joint PI Symposium of ALOS Data Nodes for ALOS Science Program in Kyoto. Nov.19-23 2007.*



Lampiran 2.1. Nilai koefisien diterminasi NR, transformasi rasio antar band, dan transformasi kromatisiti citra satelit Terra dan Aqua MODIS dan terhadap konsentrasi Klorofil-a di perairan Teluk Jakarta dengan menggunakan berbagai bentuk persamaan regresi. (nilai yang dicetak tebal secara statistik menunjukkan keeratan hubungan).



Lampiran 2.2. Data lapangan klorofil-a dan data citra satelit MODIS

Waktu	Parameter	N	Min	Max	Rerata	STD	Keterangan
22/04/2006	Klorofil-a	21	0,45	2,49	1,36	0,52	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,27	0,34	0,32	0,02	
	Chromatisiti-Hijau		0,33	0,44	0,36	0,04	
	Chromatisiti-Biru		0,24	0,36	0,32	0,03	
10/05/2006	Klorofil-a	22	0,68	7,35	2,40	1,70	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,28	0,47	0,35	0,04	
	Chromatisiti-Hijau		0,20	0,35	0,31	0,03	
	Chromatisiti-Biru		0,31	0,40	0,35	0,03	
	Klorofil-a	17	0,23	7,35	1,10	1,55	
26/05/2006	Chromatisiti-Merah		0,04	0,47	0,31	0,08	Terra
	Chromatisiti-Hijau		0,03	0,41	0,30	0,08	
	Chromatisiti-Biru		0,03	0,47	0,35	0,09	
10/05/2005	Klorofil-a	19	0,10	1,55	0,27	0,37	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,08	0,59	0,36	0,09	
	Chromatisiti-Hijau		0,08	0,34	0,29	0,06	
	Chromatisiti-Biru		0,09	0,36	0,31	0,06	
23/05/2005	Klorofil-a	12	0,10	1,55	0,25	0,32	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,08	0,59	0,32	0,10	
	Chromatisiti-Hijau		0,06	0,43	0,33	0,09	
	Chromatisiti-Biru		0,06	0,36	0,29	0,08	
21/04/2005	Klorofil-a	23	0,05	0,47	0,20	0,13	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,18	0,37	0,25	0,04	
	Chromatisiti-Hijau		0,30	0,41	0,37	0,03	
	Chromatisiti-Biru		0,25	0,50	0,38	0,06	
04/04/2004	Klorofil-a	20	0,13	1,21	0,47	0,32	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,04	0,38	0,25	0,08	
	Chromatisiti-Hijau		0,03	0,42	0,34	0,08	
	Chromatisiti-Biru		0,06	0,51	0,37	0,11	
04/05/2005	Klorofil-a	26	0,31	10,20	2,02	2,12	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,26	0,39	0,30	0,03	
	Chromatisiti-Hijau		0,37	0,46	0,40	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,23	0,34	0,30	0,03	
04/04/2004	Klorofil-a	26	0,09	1,79	0,38	0,40	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,28	0,36	0,32	0,02	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,40	0,36	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,25	0,37	0,32	0,04	
04/05/2004	Klorofil-a	26	0,09	1,79	0,38	0,40	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,28	0,36	0,32	0,02	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,40	0,36	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,25	0,37	0,32	0,04	
05/06/2004	Klorofil-a	15	0,06	1,79	0,37	0,49	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,02	0,36	0,24	0,07	
	Chromatisiti-Hijau		0,02	0,47	0,37	0,09	
	Chromatisiti-Biru		0,04	0,49	0,35	0,09	

21/06/2004	Klorofil-a	29	0,30	3,97	0,75	0,80	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,11	0,42	0,30	0,09	
	Chromatisiti-Hijau		0,35	0,44	0,38	0,03	
	Chromatisiti-Biru		0,17	0,51	0,32	0,09	
23/07/2004	Klorofil-a	27	0,06	0,48	0,30	0,11	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,19	0,32	0,24	0,04	
	Chromatisiti-Hijau		0,31	0,40	0,35	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,35	0,44	0,41	0,03	
11/08/2005	Klorofil-a	24	0,58	3,56	1,48	0,87	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,25	0,30	0,28	0,02	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,40	0,36	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,32	0,39	0,36	0,02	
27/08/2005	Klorofil-a	12	0,46	3,56	0,96	0,70	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,02	0,34	0,29	0,06	
	Chromatisiti-Hijau		0,02	0,40	0,31	0,08	
	Chromatisiti-Biru		0,02	0,47	0,36	0,09	
24/08/2004	Klorofil-a	24	0,18	1,37	0,69	0,35	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,22	0,33	0,28	0,03	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,43	0,38	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,28	0,40	0,34	0,04	
15/01/2005	Klorofil-a	23	0,06	1,01	0,32	0,27	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,24	0,34	0,30	0,03	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,52	0,39	0,05	
	Chromatisiti-Biru		0,17	0,38	0,32	0,05	
28/11/2004	Klorofil-a	22	0,30	1,79	0,98	0,45	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,29	0,32	0,30	0,01	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,45	0,36	0,03	
	Chromatisiti-Biru		0,26	0,36	0,34	0,03	
12/11/2004	Klorofil-a	26	0,12	0,77	0,38	0,18	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,27	0,37	0,30	0,02	
	Chromatisiti-Hijau		0,32	0,39	0,34	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,30	0,41	0,36	0,03	
27/10/2004	Klorofil-a	18	0,06	0,99	0,27	0,26	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,02	0,37	0,17	0,09	
	Chromatisiti-Hijau		0,02	0,39	0,32	0,07	
	Chromatisiti-Biru		0,03	0,64	0,48	0,14	
11/10/2004	Klorofil-a	22	0,18	1,13	0,50	0,23	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,15	0,27	0,22	0,04	
	Chromatisiti-Hijau		0,16	0,33	0,25	0,06	
	Chromatisiti-Biru		0,47	0,58	0,53	0,03	
12/09/2005	Klorofil-a	24	0,46	2,85	1,35	0,71	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,28	0,45	0,34	0,05	
	Chromatisiti-Hijau		0,29	0,42	0,35	0,03	
	Chromatisiti-Biru		0,15	0,39	0,32	0,06	
25/09/2004	Klorofil-a	28	0,12	0,77	0,38	0,18	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,09	0,33	0,22	0,08	
	Chromatisiti-Hijau		0,11	0,29	0,20	0,05	

	Chromatisiti-Biru		0,40	0,78	0,58	0,11	
09/09/2004	Klorofil-a	25	0,06	1,01	0,37	0,28	Terra
	Chromatisiti-Merah		0,14	0,33	0,22	0,06	
	Chromatisiti-Hijau		0,30	0,40	0,34	0,03	
	Chromatisiti-Biru		0,32	0,55	0,44	0,08	
10/05/2006	Klorofil-a	22	0,23	3,39	1,22	0,93	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,29	0,37	0,32	0,03	
	Chromatisiti-Hijau		0,33	0,40	0,35	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,24	0,38	0,33	0,04	
23/05/2006	Klorofil-a	17	0,23	3,39	0,80	0,74	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,03	0,37	0,25	0,06	
	Chromatisiti-Hijau		0,02	0,40	0,33	0,07	
	Chromatisiti-Biru		0,04	0,42	0,38	0,09	
04/05/2004	Klorofil-a	26	0,09	1,79	0,38	0,40	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,26	0,29	0,27	0,01	
	Chromatisiti-Hijau		0,35	0,39	0,37	0,01	
	Chromatisiti-Biru		0,33	0,38	0,36	0,02	
05/06/2004	Klorofil-a	20	0,06	0,01	0,01	0,02	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,54	0,31	0,38	0,45	
	Chromatisiti-Hijau		0,20	0,26	0,32	0,38	
	Chromatisiti-Biru		0,15	0,06	0,07	0,09	
21/06/2004	Klorofil-a	30	0,15	1,55	0,60	0,34	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,06	0,32	0,30	0,06	
	Chromatisiti-Hijau		0,07	0,37	0,33	0,06	
	Chromatisiti-Biru		0,09	0,36	0,33	0,06	
23/07/2004	Klorofil-a	27	0,06	0,48	0,30	0,11	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,12	0,30	0,19	0,06	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,47	0,42	0,04	
	Chromatisiti-Biru		0,33	0,43	0,39	0,03	
24/08/2004	Klorofil-a	24	0,18	1,37	0,69	0,35	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,24	0,29	0,27	0,02	
	Chromatisiti-Hijau		0,33	0,35	0,34	0,01	
	Chromatisiti-Biru		0,37	0,41	0,39	0,01	
09/09/2004	Klorofil-a	25	0,06	1,01	0,37	0,28	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,15	0,34	0,24	0,06	
	Chromatisiti-Hijau		0,30	0,39	0,33	0,03	
	Chromatisiti-Biru		0,32	0,55	0,44	0,08	
27/09/2004	Klorofil-a	28	0,12	0,77	0,38	0,18	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,09	0,34	0,23	0,09	
	Chromatisiti-Hijau		0,11	0,28	0,19	0,05	
	Chromatisiti-Biru		0,39	0,78	0,57	0,11	
10/05/2005	Klorofil-a	20	0,10	0,52	0,17	0,11	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,29	0,39	0,33	0,03	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,48	0,39	0,04	
	Chromatisiti-Biru		0,13	0,35	0,28	0,06	
23/05/2005	Klorofil-a	12	0,10	0,52	0,19	0,13	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,03	0,39	0,29	0,08	

	Chromatisiti-Hijau		0,04	0,48	0,37	0,09	
	Chromatisiti-Biru		0,06	0,44	0,29	0,10	
29/06/2005	Klorofil-a	26	0,10	0,10	0,10	0,00	Aqua
	Chromatisiti-Merah		0,30	0,38	0,34	0,02	
	Chromatisiti-Hijau		0,34	0,43	0,39	0,02	
	Chromatisiti-Biru		0,19	0,34	0,27	0,04	



Lampiran 2.3a. Kelimpahan dan dominasi jenis fitoplankton pada Tahun 2006 di perairan Teluk Jakarta.

No.	Fitoplankton	Stasiun1		Stasiun2		Stasiun3		Stasiun4		Stasiun5	
		sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%
DIATOM											
1	<i>Bacteriastrum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	148514,85	0,84	0,00	0,00
2	<i>Coscinodiscus</i>	69889,34	0,32	61153,17	0,39	78625,51	0,68	34944,67	0,20	78625,51	0,28
3	<i>Chaetoceros</i>	567850,90	2,60	279557,37	1,80	655212,58	5,64	358182,88	2,02	681421,08	2,46
4	<i>Lauderia</i>	192195,69	0,88	113570,18	0,73	454280,72	3,91	157251,02	0,89	235876,53	0,85
5	<i>Nitzschia</i>	218404,19	1,00	1092020,97	7,03	305765,87	2,63	253348,86	1,43	270821,20	0,98
6	<i>Odontela</i>	0,00	0,00	8736,17	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	<i>Rhizosolenia</i>	183459,52	0,84	279557,37	1,80	52417,01	0,45	131042,52	0,74	139778,68	0,51
8	<i>Skeletonema</i>	11785090,27	53,87	2166569,60	13,96	8578916,72	73,83	14641817,12	82,56	4769947,58	17,25
9	<i>Thalassiosira</i>	8543972,04	39,06	11121141,53	71,64	1240535,82	10,68	1555037,86	8,77	20757134,54	75,07
10	<i>Thalassiothrix</i>	122306,35	0,56	235876,53	1,52	157251,02	1,35	227140,36	1,28	165987,19	0,60
	Jumlah Diatomae	21683168,32	99,12	15358182,88	98,93	11523005,24	99,17	17507280,14	98,72	27099592,31	98,01
DINOFLAGELATA											
11	<i>Ceratium</i>	69889,34	0,32	122306,35	0,79	43680,84	0,38	104834,01	0,59	69889,34	0,25
12	<i>Dinophysis</i>	17472,34	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	8736,17	0,05	26208,50	0,09
13	<i>Gonyaulax</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	8736,17	0,08	0,00	0,00	17472,34	0,06
14	<i>Protoperidinium</i>	61153,17	0,28	17472,34	0,11	26208,50	0,23	69889,34	0,39	131042,52	0,47
15	<i>Prorocentrum</i>	0,00	0,00	26208,50	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	34944,67	0,13
16	<i>Pyrophacus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26208,50	0,09
17	<i>Scerriepsella</i>	43680,84	0,20	0,00	0,00	17472,34	0,15	43680,84	0,25	244612,70	0,88
	Jumlah Dinoflagell	192195,69	0,88	165987,19	1,07	96097,85	0,83	227140,36	1,28	550378,57	1,99
Jumlah Fitoplankton		21875364,01	100,00	15524170,06	100,00	11619103,09	100,00	17734420,50	100,00	27649970,88	100,00
Indek Keanekaragaman (H')		1,02		1,03		1,01		0,77		0,88	0,94
Indek Kemerataan (E)		0,41		0,41		0,41		0,30		0,32	0,37
Indek Dominansi (D)		0,44		0,54		0,56		0,69		0,59	0,57
Indek Kekayaan Jenis (J)		0,65		0,66		0,68		0,72		0,82	0,71



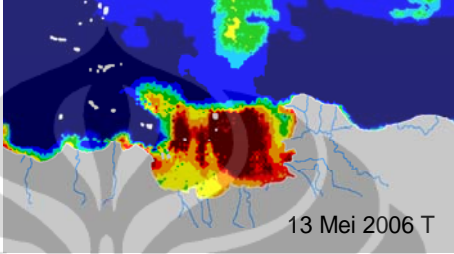
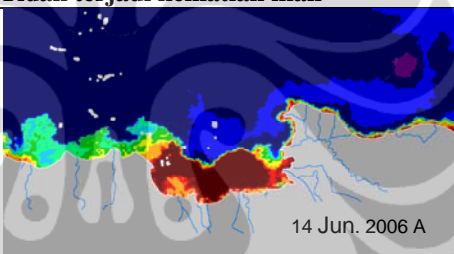
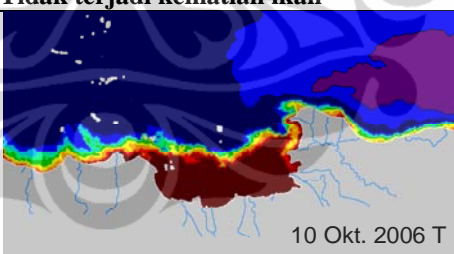
Lampiran 2.3b. Kelimpahan dan dominasi jenis fitoplankton pada Tahun 2007 di perairan Teluk Jakarta.

No.	Fitoplankton	Stasiun 1		Stasiun 2		Stasiun 3		Stasiun 4		Stasiun 5		Stasiun 6		Stasiun 7	
		sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%	sel/m <sup>3</sup>	%
<b>DIATOM</b>															
1	<i>Asterionella</i>	69970,85	3,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	<i>Bacteriastrium</i>	99125,36	5,56	0,00	0,00	431486,88	4,82	507288,63	6,05	839650,15	5,35	1072886,30	9,18	3061224,49	11,50
3	<i>Coscinodiscus</i>	17492,71	0,98	8746,36	1,03	11661,81	0,13	34985,42	0,42	46647,23	0,30	58309,04	0,50	87463,56	0,33
4	<i>Chaetoceros</i>	274052,48	15,36	56851,31	6,70	2793002,92	31,18	2069970,85	24,70	2647230,32	16,88	4046647,23	34,63	6763848,40	25,41
5	<i>Diploneis</i>	5830,90	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	<i>Dytilum</i>	0,00	0,00	13119,53	1,55	34985,42	0,39	46647,23	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	<i>Eucampia</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	52478,13	0,59	104956,27	1,25	174927,11	1,12	0,00	0,00	451895,04	1,70
8	<i>Guinardia</i>	0,00	0,00	30612,24	3,61	29154,52	0,33	0,00	0,00	93294,46	0,59	104956,27	0,90	102040,82	0,38
9	<i>Hemidiscus</i>	34985,42	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	<i>Hemialus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	612244,90	6,84	157434,40	1,88	268221,57	1,71	163265,31	1,40	116618,08	0,44
11	<i>Lauderia</i>	93294,46	5,23	30612,24	3,61	151603,50	1,69	437317,78	5,22	326530,61	2,08	548104,96	4,69	379008,75	1,42
12	<i>Nitzschia</i>	122448,98	6,86	39358,60	4,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	<i>Pseudonitzschia</i>	81632,65	4,58	0,00	0,00	379008,75	4,23	192419,83	2,30	769679,30	4,91	758017,49	6,49	2376093,29	8,93
14	<i>Odoniella</i>	0,00	0,00	69970,85	8,25	52478,13	0,59	69970,85	0,84	0,00	0,00	139941,69	1,20	0,00	0,00
15	<i>Rhizosolenia</i>	46647,23	2,61	43731,78	5,15	361516,03	4,04	134110,79	1,60	419825,07	2,68	268221,57	2,30	626822,16	2,35
16	<i>Skeletonema</i>	810495,63	45,42	498542,27	58,76	3341107,87	37,30	1725947,52	20,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	<i>Streptotheca</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34985,42	0,42	139941,69	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00
18	<i>Thalassiosira</i>	23323,62	1,31	0,00	0,00	227405,25	2,54	2664723,03	31,80	9352769,68	59,63	4069970,85	34,83	11166180,76	41,95
19	<i>Thalassiothrix</i>	69970,85	3,92	48104,96	5,67	413994,17	4,62	122448,98	1,46	478134,11	3,05	209912,54	1,80	1268221,57	4,76
	Jumlah Diatomae	1749271,14	98,04	839650,15	98,97	8892128,28	99,28	8303207,00	99,10	15556851,31	99,18	11440233,24	97,90	26399416,91	99,18
<b>DINOFLAGELATA</b>															
1	<i>Ceratium</i>	11661,81	0,65	8746,36	1,03	17492,71	0,20	40816,33	0,49	69970,85	0,45	81632,65	0,70	116618,08	0,44
2	<i>Dictyocha</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	5830,90	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	<i>Dinophysis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	11661,81	0,13	0,00	0,00	34985,42	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00
4	<i>Noctiluca</i>	11661,81	0,65	0,00	0,00	23323,62	0,26	34985,42	0,42	0,00	0,00	81632,65	0,70	0,00	0,00
5	<i>Protoperdinium</i>	11661,81	0,65	0,00	0,00	5830,90	0,07	0,00	0,00	23323,62	0,15	58309,04	0,50	87463,56	0,33
6	<i>Prorocentrum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14577,26	0,05
7	<i>Pyrophacus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23323,62	0,20	0,00	0,00
	Jumlah Dinoflagellata	34985,42	1,96	8746,36	1,03	64139,94	0,72	75801,75	0,90	128279,88	0,82	244897,96	2,10	218658,89	0,82
Jumlah Fitoplankton		1784256,56	100,00	848396,50	100,00	8956268,22	100,00	8379008,75	100,00	15685131,20	100,00	11685131,20	100,00	26618075,80	100,00
Indek Keaneekaragaman		1,93		1,56		1,78		1,87		1,45		1,72		1,65	1,71
Indek Kemerataan		0,70		0,65		0,61		0,67		0,54		0,64		0,63	0,63
Indek Dominansi		0,25		0,37		0,25		0,21		0,39		0,26		0,27	0,28
Indek Kekayaan Jenis		1,04		0,73		1,12		0,94		0,84		0,86		0,76	0,90

Lampiran 2.3c. Kelimpahan dan dominasi jenis fitoplankton pada Tahun 2008 di perairan Teluk Jakarta.

No.	Fitoplankton	Stasiun 1		Stasiun 2		Stasiun 3		Stasiun 4		Stasiun 6	
		Sel./m <sup>3</sup>	%	Sel./m <sup>3</sup>	%	Sel./m <sup>3</sup>	%	Sel./m <sup>3</sup>	%	Sel./m <sup>3</sup>	%
<b>DIATOMAE</b>											
1	<i>Asterionella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	<i>Bacteriastrum</i>	2.761.081,89	0,78	3.431.630,35	5,03	361.570,25	0,17	283.996,99	1,17	2.682.193,84	0,86
3	<i>Chaetoceros</i>	220.294.891,06	62,04	45.557.851,24	66,75	146.041.510,14	70,01	16.006.386,18	66,11	253.362.133,73	81,05
4	<i>Coscinodiscus</i>	295.830,20	0,08	65.740,05	0,10	-	-	-	-	-	-
5	<i>Diploneis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	<i>Eucampia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	<i>Hemiaulus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	<i>Leptocylindrus</i>	394.440,27	0,11	-	-	213.655,15	0,10	228.775,36	0,94	762.584,52	0,24
9	<i>Lauderia</i>	-	-	157.776,11	0,23	197.220,14	0,09	-	-	-	-
10	<i>Nitzschia</i>	2.432.381,67	0,69	907.212,62	1,33	723.140,50	0,35	205.108,94	0,85	604.808,41	0,19
11	<i>Odontella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>Pleurosigma</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	<i>Rhizosolenia</i>	-	-	105.184,07	0,15	98.610,07	0,05	31.555,22	0,13	105.184,07	0,03
14	<i>Skeletonema</i>	128.061.607,81	36,07	17.710.368,14	25,95	60.431.536,44	28,97	7.352.366,64	30,37	53.722.764,84	17,19
15	<i>Thalassiothrix</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>Thalassiosira</i>	-	-	-	-	82.175,06	0,04	63.110,44	0,26	368.144,25	0,12
	<b>Jumlah Diatomae</b>	<b>354.240.232,91</b>	<b>99,77</b>	<b>67.935.762,58</b>	<b>99,54</b>	<b>208.149.417,73</b>	<b>99,79</b>	<b>24.171.299,77</b>	<b>99,84</b>	<b>311.607.813,67</b>	<b>99,69</b>
<b>DINOFLAGELLATA</b>											
17	<i>Alexandrium</i>	98.610,07	0,03	26.296,02	0,04	-	-	-	-	-	-
18	<i>Ceratium</i>	197.220,14	0,06	26.296,02	0,04	115.045,08	0,06	15.777,61	0,07	157.776,11	0,05
19	<i>Dinophysis</i>	131.480,09	0,04	52.592,04	0,08	32.870,02	0,02	-	-	-	-
20	<i>Gymnodinium</i>	-	-	26.296,02	0,04	-	-	-	-	-	-
21	<i>Gonyaulax</i>	-	-	13.148,01	0,02	16.435,01	0,01	-	-	-	-
22	<i>Noctiluca</i>	65.740,05	0,02	78.888,05	0,12	131.480,09	0,06	15.777,61	0,07	762.584,52	0,24
23	<i>Prorocentrum</i>	164.350,11	0,05	-	-	49.305,03	0,02	7.888,81	0,03	-	-
24	<i>Prorocentrum</i>	164.350,11	0,05	92.036,06	0,13	32.870,02	0,02	-	-	52.592,04	0,02
25	<i>Scerriepsiella</i>	-	-	-	-	65.740,05	0,03	-	-	-	-
	<b>Jumlah Dinoflagellata</b>	<b>821.750,56</b>	<b>0,23</b>	<b>315.552,22</b>	<b>0,46</b>	<b>443.745,30</b>	<b>0,21</b>	<b>39.444,03</b>	<b>0,16</b>	<b>972.952,67</b>	<b>0,31</b>
	<b>Jumlah Fitoplankton</b>	<b>355.061.983,47</b>	<b>100,00</b>	<b>68.251.314,80</b>	<b>100,00</b>	<b>208.593.163,04</b>	<b>100,00</b>	<b>24.210.743,80</b>	<b>100,00</b>	<b>312.580.766,34</b>	<b>100,00</b>
	Indek Keaneekaragaman	0,77		0,89		0,68		0,81		0,57	
	Indek Kemerataan	0,31		0,34		0,25		0,35		0,25	
	Indek Kekayaan Jenis	0,56		0,72		0,73		0,53		0,46	

Lampiran 2.4. Perbedaan nilai tinggi dan rendah pasang surut (pasut) yang dapat digunakan sebagai indikator kemungkinan terjadinya kematian ikan di Teluk Jakarta.

Tanggal	Perbedaan Tinggi-Rendah Pasute (m)	Data Citra Marak Alga
13 Mei 2006	0.9	 <p>13 Mei 2006 T</p>
14 Mei 2006	0.9	
15 Mei 2006	1.0	
16 Mei 2006	1.0	
17 Mei 2006	1.0	
18 Mei 2006	0.9	
		<b>Tidak terjadi kematian ikan</b>
14 Juni 2006	1.0	 <p>14 Jun. 2006 A</p>
15 Juni 2006	1.0	
16 Juni 2006	0.9	
17 Juni 2006	0.7	
18 Juni 2006	0.6	
19 Juni 2006	0.6	
		<b>Tidak terjadi kematian ikan</b>
10 Oktober 2006	0.7	 <p>10 Okt. 2006 T</p>
11 Oktober 2006	0.8	
12 Oktober 2006	0.8	
13 Oktober 2006	0.8	
14 Oktober 2006	0.8	
15 Oktober 2006	0.7	
16 Oktober 2006	0.6	
17 Oktober 2006	0.6	
		<b>Tidak terjadi kematian ikan</b>

## BAB III

# KAJIAN SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS PERAIRAN DENGAN PARAMETER CDOM (*Colored Dissolved Organic Matter*) DI PERAIRAN TELUK JAKARTA

Agus Sediadi

### ABSTRACT

Observations on oceanographic parameters using remote sensing techniques intensively have been done for more than 3 decades for estimating and mapping the sea surface temperature (SST) and the abundance of phytoplankton expressed as the concentration of chlorophyll-a and applied them in studying the ocean phenomenon. As a result, the product of these 2 parameters for all over the oceans in the world has been established and available event in daily basis. However, on the contrary, there is still limited application for sea surface salinity (SSS) which is also one of the most important oceanographic features. This paper describes a novel method of deriving SSS from remotely sensed ocean color. The method is based on two important observations of optical properties in regions of freshwater influence. The first is the strong effect of colored dissolved organic matter (yellow substance/ CDOM) on ocean color when present in relatively high concentrations. The second is the close relationship between salinity and CDOM originating from fresh water runoff. In this paper, these relationships are demonstrated for the Jakarta Bay, Indonesia. The MODIS sensor in Terra and Aqua satellites imageries and 10 *in situ* measurements conducted near-simultaneously with the satellites over flight over the bay in 2004 and 2006 were applied for deriving CDOM and SSS. The empirical relationships demonstrated in this study allow the satisfactory prediction CDOM and SSS in the Jakarta Bay from remotely sensed ocean color. The root mean square (r.m.s) error difference between the observed and predicted parameters are 0,14  $m^{-1}$  and 0,93 psu for CDOM  $g_{440}$  and SSS, respectively, over a range of salinity from 24 to 33 psu. This range is in good agreement with past field surveys. Parameter that might be affected CDOM, such as Chlorophyll-a (CHL-a) and total suspended solid(TSS) concentrations was also analyzed. Results showed that there were no relationship at all between CDOM and CHL-a, and between CDOM and TSS. These indicate that phytoplankton played minor role in regulating CDOM abundance, and suggest also that CDOM contribution from sediment and/or from sediment resuspension was negligible. Thus, CDOM sources in the Jakarta Bay are mainly from riverine inputs.

**Key Words:** *Algorithm, CDOM, Jakarta Bay, MODIS, SSS, Terra and Aqua.*

## PENDAHULUAN

Warna laut (*ocean color*) didefinisikan sebagai energi gelombang elektromagnetik (cahaya) yang keluar dari permukaan perairan (laut) pada panjang gelombang tampak (0,4-07  $\mu\text{m}$ ). Energi tersebut sangat tergantung dari sifat penyerapan dan pembauran air serta zat-zat terlarut di dalamnya, seperti sel fitoplankton, baik yang hidup maupun mati, dan total material organik dan anorganik yang tersuspensi (*seston*) (Barale, 1986; Holigan *et al.*, 1989; Kirk, 1994; IOCCG, 2000). Seluruh material tersebut sangat mempengaruhi sifat optik suatu perairan.

Menurut Sathyendranath & Morel (1983); IOCCG (2000), berdasarkan sifat optiknya perairan di bagi 2 jenis, yaitu kategori perairan-1 (*case-1 waters*) atau perairan lepas/oseanik (*off shore*), dan kategori perairan-2 (*Case-2 waters*) atau perairan pantai/pesisir (*inshore*) yang kompleks. Pada kategori perairan-1, fitoplankton memegang peranan dominan dalam menentukan sifat optik perairan. Perairan-1 akan berubah menjadi perairan-2, jika sedikitnya salah satu komponen berikut ini masuk ke dalam perairan-1, yaitu sedimen yang tersuspensi ulang dari dasar perairan, terutama perairan dangkal; zat organik terlarut (*dissolved organic matter*) berasal dari daratan yang masuk melalui sungai (*run off*); dan material tersuspensi berasal dari limbah rumah tangga (*anthropogenic*).

Pada perairan-2, ada dua komponen utama material tersuspensi yang mempengaruhi warna laut, yaitu material inorganik sedimen (seperti tanah merah/*red clay*) dan material organik kuning (*yellow substances*), atau disebut juga sebagai *gelbstoff*, atau gelvin, atau *colored dissolved organic matter* (CDOM) yang merupakan asam *humic fulvic* hasil degradasi dari bahan organik (Maul, 1985; Fischer & Kronfeld, 1990; Kirk 1994; IOCCG, 2000; Binding & Bowers, 2003). Di daerah dekat sungai, kebanyakan CDOM berasal dari drainase daratan dan hal ini mengakibatkan warna perairan menjadi hijau atau bahkan berwarna coklat ketika berada dalam konsentrasi yang cukup. Daerah yang jauh dari daratan pengaruh sungai mulai berkurang dan CDOM agaknya berkaitan dengan produktivitas primer seperti penurunan sel alga dan zooplankton (Sathyendranath & Morel, 1983; Binding & Bowers, 2003; Chen *et*

*al.*, 2005; Nababan, 2005; Bowers & Brett, 2008; Sasaki *et al.*, 2008). Akan tetapi, di wilayah tepi sub-tropis seperti Bahamas yang kekurangan masukan fluvial, sumber yang berkaitan dengan substrat, terutama rumput dan terumbu karang, telah ditemukan menjadi sumber utama CDOM (Boss & Zanveld, 2003).

Pengetahuan tentang sebaran spasial dan perubahan temporal CDOM adalah penting, karena sifat optik CDOM yang mampu menyerap cahaya gelombang ultraviolet (UV) dan spektrum gelombang biru yang menghasilkan adanya reaksi fotokimia (*photochemical*), selain dapat melindungi biota laut (*phytoplankton* dari dampak gelombang cahaya UV-B, tetapi akan mengurangi cahaya yang digunakan oleh fitoplankton untuk berfotosintesa (Binding & Bowers, 2003; Kowalczyk, 2003; Kutser *et al.*, 2005; Nababan, 2005).

Mengingat pentingnya CDOM, sehingga sangat diperlukan suatu metode untuk menduga tingkat konsentrasinya di perairan pesisir dan terlebih lagi untuk wilayah perairan yang lebih luas. Tetapi kenyataannya, secara umum konsentrasi CDOM yang tinggi di perairan pesisir lebih tinggi menyerap sinar cahaya UV dan cahaya biru dari pada menyerap cahaya lainnya yang lebih terpantau oleh satelit (Bowers & Brett, 2008). Sehingga, interpretasi penginderaan jarak jauh sangat tergantung pada kemampuan adanya keterkaitan antara alat-alat optik pada satelit (*remote sensing reflectance*) dalam memantau CDOM (Ahn *et al.*, 2008).

Lebih lanjut, karena CDOM dan bahan pencemar yang terbawa oleh sungai biasanya tercampur dengan kandungan salinitas, sehingga CDOM dapat digunakan untuk menduga kandungan salinitas permukaan perairan (Nababan, 2005), karena kandungan salinitas tidak mempunyai sinyal warna (Ahn *et al.*, 2008). Akan tetapi Monahan & Pybus (1978) menunjukkan bahwa CDOM dapat dikaitkan dengan kandungan salinitas dari warna laut yang dilakukan di pantai Barat Irlandia. Oleh karena itu, secara teoritis dapat diinterpretasikan dengan penginderaan jarak jauh melalui pesawat atau satelit (Binding & Bowers, 2003, Bowers & Brett, 2008).

Tujuan penelitian ini adalah; (1) Memantau dan mengkaji variabilitas CDOM di perairan Teluk Jakarta dan (2) Mengkaji apakah perairan Teluk Jakarta dipengaruhi oleh CDOM berasal dari komponen darat atau komponen laut.

## **BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN**

### **Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di perairan Teluk Jakarta. Keterangan terinci mengenai teluk ini dan lokasi kajian dapat dilihat pada sub bab Bahan dan Metodologi Penelitian di **BAB I dan BAB II**.

### **Pengukuran dan Sampling Data Kualitas Perairan**

Koleksi data kualitas perairan dilakukan secara bersamaan (*near simultaneously*) dengan lintasan satelit Landsat-7 ETM+ yang melintasi Teluk Jakarta (Path 122; Row: 064) selama  $\pm 3$  jam sebelum dan sesudah satelit melintas jam 09:45 WIB. Pada waktu yang bersamaan satelit Terra (diluncurkan Agustus 1999) dan Aqua (diluncurkan tahun 2002) yang membawa sensor MODIS juga melintasi Teluk Jakarta pada pagi hari jam 10,15 WIB dan jam 13.05 WIB pada sore hari. Stasiun pengukuran di lapangan sebanyak 225 stasiun, menggunakan 2 perahu (A/B) dengan 3 periode sampling, yaitu tanggal 21 Juni, 24 Agustus dan 9 September 2004 dan 84 stasiun dengan 5 periode sampling, yaitu tanggal 26 Mei, 11 Juni, 29 Agustus dan 1 Oktober 2006.

Masing-masing stasiun diukur profil suhu perairan dan kandungan salinitas menggunakan Sea-Bird Electronics (SBE) conductivity-temperature-depth (CTD). Karena hanya tersedia 1 CTD, maka pengukuran parameter tersebut hanya dilakukan di perahu B untuk periode tahun 2004. Pengukuran parameter tingkat kecerahan menggunakan cakram Secchi (*Secchi Disk*), dan bersamaan dengan sampling total suspended solid (TSS), klorofil-a dan konsentrasi CDOM yang kemudian dianalisis di laboratorium P2O-LIPI.

Konsentrasi TSS, diukur berdasarkan gravimetrik menggunakan kertas saring (Whatman Glass-Fibre Filter GF/C), ukuran diameter 47 mm (size 0,7  $\mu\text{m}$ ). Konsentrasi klorofil-a berdasarkan fluorometrik setelah diekstraksi dengan Aceton selama 24 jam (Strickland & Parsons, 1972). Untuk pengukuran konsentrasi CDOM, sebagian dari sampel air disaring melalui Whatman glass-fibre filters GF/F (24 mm in diameter, size 0,2  $\mu\text{m}$ ). Sampel disimpan selama beberapa jam dalam botol sebelum dianalisis.

Konsentrasi CDOM diukur dengan spektrofotometer Shimadzu bersama air distilasi sebagai acuan. Koefisien absorpsi pada panjang gelombang 440 nm

( $g_{440}$ ,  $m^{-1}$ ) sebagai dasar penghitungan konsentrasi CDOM dan perhitungan menggunakan rumus, sebagai berikut:

$$g_{440} = 2.3025 (A_{440} - A_{750})/l \dots\dots\dots 1)$$

di mana:

- $A_{440}$  dan  $A_{750}$  sebagai absorban diukur masing-masing pada panjang gelombang 440 dan 750 nm.
- Faktor 2.3025 dikonversikan dari angka 10 berdasarkan logaritma.
- Nilai absorban pada panjang gelombang 750 nm sebagai koreksi penyebaran partikel, yaitu 1 adalah panjang sel cuvet dalam meter (Binding & Bowers, 2003; Binding *et al.*, 2005). Ini menggunakan curvet dengan panjang 1 cm dan satuan unit dari  $g_{440}$  adalah  $cm^{-1}$ , jadi denominasi persamaannya 1 adalah 1.

### Analisis Data Citra Satelit

Sebanyak 14 citra yang terdiri dari 8 Terra- dan 6 Aqua-MODIS pada tanggal 21 Juni, 24 Agustus, dan 9 September 2004; 21 Juni, 24 Agustus dan 1 Oktober 2006 digunakan untuk analisis dalam penelitian ini. Sensor MODIS mempunyai 36 chanel/Band dengan spektrum berkisar antara 0,4 to 14,3  $\mu m$ . Sensor ini khusus untuk penginderaan jarak jauh daratan (Band 1 sampai Band 7), perairan laut (Band 8 sampai Band 16) dan atmosfer (Band 17 sampai Band 36). 1 set saluran (*channel*) MODIS pada Band 8 sampai Band 16 dengan rentang spektrum 0,4 sampai 0,9  $\mu m$  dirancang untuk penginderaan jarak jauh pada perairan-1 (Case-1 waters). Saluran (*channel*) lainnya, yaitu Band 1 sampai Band 7, dengan rentang spektrum 0,4 sampai 2,3  $\mu m$  dirancang untuk penginderaan jarak jauh dekat daratan sama seperti Satelit Landsat-5 atau Landsat-7, tetapi mempunyai aplikasi untuk penginderaan jarak jauh perairan pesisir dan perairan daratan (Gao *et al.*, 2007).

Dari Tabel 3.1. dapat dilihat karakteristik saluran MODIS. MODIS level-1B adalah data citra Terra dan Aqua yang digunakan dalam kajian ini, di mana keduanya dapat digunakan untuk menganalisis perairan laut dan daratan yang dapat diunduh melalui situs: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>. Dalam kajian ini dipilih hanya 3 Band sesuai wilayah, yaitu Band 3 (Biru), Band (Hijau) dan Band 1(Merah) yang ada pada aplikasi untuk perairan laut (Band 8 sampai Band 14, lihat Tabel 3.1).



Tabel 3.1. Ciri utama sensor MODIS untuk daratan dan perairan laut yang tampak dan spektrum wilayah infra merah dekat (*near-infrared/NIR* (Gao *et al.*, 2007).

Kegunaan Utama	Band No.	Bandwith (nm)	Resolusi (m)	Rasio Sinyal terhadap gangguan
Aplikasi untuk daratan	1	620-670, Red	250	128
	2	841-876, NIR	250	201
	3	459-479, Blue	500	243
	4	545-565, Green	500	248
	5	1230-1250, Mid-IR	500	74
	6	1628-1652, Mid-IR	500	275
	7	2105-2155, Mid-IR	500	110
Aplikasi untuk laut	8	405-420, Blue	1000	880
	9	438-448, Blue	1000	838
	10	483-493, Blue	1000	802
	11	526-536, Green	1000	754
	12	546-556, Green	1000	750
	13	662-672, Red	1000	910
	14	673-683, Red	1000	1087
	15	743-753, NIR	1000	586
	16	862-877, NIR	1000	516

Secara matematis, cara mengurangi pengaruh atmosferik tersebut dinyatakan dalam persamaan, di bawah ini:

$$Y_{ij} = X_{ij} - \text{Bias}_{ij}, \dots\dots\dots 2)$$

di mana:

- $Y_{ij}$  = ND Band  $i$  tanggal  $j$  setelah pengaruh atmosferik dikoreksi
- $X_{ij}$  = ND Band  $i$  tanggal  $j$  yang belum dikoreksi
- $\text{Bias}_{ij}$  = ND minimum Band  $i$  tanggal  $j$

Dengan menggunakan persamaan di atas, 14 citra Terra dan Aqua MODIS dikoreksi untuk melihat pengaruh atmosferik dengan Nilai Digital (ND) dari masing-masing Band dengan nilai ND minimal. Walaupun data citra satelit Terra dan Aqua MODIS memiliki resolusi radiometriks yang sama (Tabel 2.1), tetapi respon sinyal tidak sama sehingga perlu dikalibrasi terlebih dahulu dengan jalan mengkonversi ND terkoreksi menjadi Nilai Radians (NR), bagi keduanya menjadi satuan yang sama, yaitu:  $W \text{ cm}^{-1} \mu\text{m cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ ), dengan demikian data dari kedua citra tersebut dapat dibandingkan, seperti terlihat pada Tabel 3.2. (Ouzounov, 2005).

Tabel 3.2. Koefisien untuk mengkonversi ND menjadi NR ( $W.m^{-2}.\mu m^{-1}.sr^{-1}$ ) pada Band gelombang tampak citra satelit Terra- and Aqua MODIS,

Satelit	Band -1 (Merah)		Band - 4 (Hijau)		Band - 3 (Biru)	
	Skala	offset	Skala	offset	Skala	offset
Terra	0,0262678	0	0,0189215	0	0,0216817	0
Aqua	0,0286548	0	0,0188667	0	0,0219852	0

Catatan:

- 1).  $NR = ND \text{ terkoreksi} * \text{skala} + \text{offset}$ . ND: Nilai Digital; NR: Nilai Radians.
- 2). Koefisien skala dan offset diperoleh dari Dimitrar Ouzounov, Ph.D (2005), dari NASA Goddard Space Flight Center ([ouzounov@eosdata.gsfc.nasa.gov](mailto:ouzounov@eosdata.gsfc.nasa.gov)).

Panjang gelombang cahaya pada Bands 3 (Biru), Band 4 (Hijau) dan Band 1 (Merah) yang dikoreksi dari radian atmosfer kemudian diekstrak. Transformasi rasio cahaya gelombang Biru ke Hijau (Band 3/Band 4), Biru ke Merah (Band 3/Band 1) dan Hijau ke Merah (Band 4/Band 1). Transformasi rasio cahaya kromatisiti biru atau X – Kromatisiti =  $\text{Band 3}/(\text{Band 3}+\text{Band 4}+ \text{Band 1})$ ; cahaya kromatisiti Hijau atau Y – Kromatisiti atau  $Y\text{- Kromatisiti} = [(\text{Band 4})/(\text{Band 3}+\text{Band 4}+\text{Band 1})]$ , dan cahaya kromatisiti Merah atau Z kromatisiti =  $[(\text{Band 1})/(\text{Band 3}+ \text{Band 4}+ \text{Band 1})]$ , di mana:  $X+Y+Z=1$  juga dihitung (Bukata *et al.*, 1981).

Tujuan menggunakan transformasi rasio Band adalah untuk menghilangkan bayangan sinar matahari dan pengaruh atmosfer, sementara transformasi kromatisiti untuk meningkatkan hasil citra melalui indeks warna tritimus (Sasmal, 2000). Semua hasil ekstraksi data cahaya MODIS dihitung dengan persamaan di atas yang berkorelasi dengan data CDOM yang diukur dari lapangan dengan bentuk persamaan regresi. Analisis regresi antara CDOM dan kandungan salinitas juga dikembangkan. Apabila nilai data cahaya dari masing-masing Band dan hasil transformasinya baik dari sensor Terra NDa Aqua MODIS berkorelasi kuat dengan CDOM dan kandungan salinitas, sehingga dapat memberikan informasi tentang kandungan salinitas dari data citra satelit.

## HASIL

Selama periode sampling sebanyak 309 data pengukuran parameter kualitas perairan telah dilakukan di Teluk Jakarta, yang mewakili musim peralihan dari musim hujan sampai musim kemarau (Maret-Mei), musim kemarau (Juni-Agustus) dan musim peralihan dari musim kemarau sampai musim hujan (September-November). Dari seluruh data yang ada hanya 174 data yang digunakan untuk membuat model pendugaan CDOM dan kandungan salinitas permukaan, karena CDOM tidak diukur pada tanggal 24 Mei dan 25 September 2004, sementara pengukuran kadar salinitas *in situ* tidak tersedia pada tanggal 21 Juni, 21 Agustus dan 9 September 2004.

### Variasi *in-situ* CDOM dan salinitas permukaan

Hasil pengukuran *in situ* penyerapan CDOM, salinitas permukaan, konsentrasi klorofil-a dan konsentrasi TSS, disajikan pada Tabel 3.3. Penyerapan CDOM pada umumnya menurun seiring dengan meningkatnya salinitas (Chen *et al.*, 2007). Kajian ini menunjukkan hasil sama, yang ditunjukkan oleh nilai CDOM yang relatif lebih tinggi, yaitu 440 nm (CDOM  $g_{440}$ ) ditemukan pada musim peralihan dari musim hujan ke musim panas hingga awal musim panas (Mei hingga Juni) keduanya ditemukan pada tahun 2004 dan 2006, berkisar antara 0 hingga 0,168  $cm^{-1}$  dan 0 ke 0,120  $cm^{-1}$ , dengan nilai rata-rata 0,037 dan 0,007  $cm^{-1}$ , secara berurutan. Pada musim panas musim peralihan dari musim panas ke musim hujan (Juli hingga Oktober), nilai CDOM  $g_{440}$  rendah berkisar antara 0 sampai 0,012  $cm^{-1}$  dengan nilai rata-rata sebesar 0,006  $cm^{-1}$  selama tahun 2004 dan berkisar antara 0,001 sampai 0,012  $cm^{-1}$  dengan nilai rata-rata sebesar 0,005  $cm^{-1}$  pada tahun 2006. Di pihak lain, salinitas permukaan memiliki nilai yang rendah ( $< 32$  psu) selama awal musim panas dengan kisaran nilai 30,9 hingga 31,8 psu pada tahun 2004 dan 31,7 hingga 31,9 psu pada 2006 dibandingkan dengan yang ada pada pertengahan musim panas dan musim peralihan dari musim panas ke musim hujan ( $>32$  psu) dengan kisaran nilai antara 32,4 sampai 33,0 psu pada tahun 2004 dan 32,6 sampai 32,7 psu pada tahun 2006, secara berurutan, kecuali bulan Juli 2006 ( $< 32$  psu).

Pengamatan hidrografik panjang yang telah dilakukan di Teluk Jakarta oleh Ilahude (1995) menunjukkan bahwa salinitas permukaan berkisar antara 25,0 dan 32,5 psu. Sepanjang musim, salinitas rendah ditemukan selama musim hujan dari bulan Desember sampai bulan Februari dengan nilai berkisar antara 25,0 hingga < 32,0 psu. Kisaran nilai salinitas permukaan untuk peralihan dari musim hujan ke musim panas (Maret hingga Mei), musim panas (Juni hingga Agustus) dan musim peralihan dari musim panas ke musim hujan (September hingga November) secara berurutan adalah sebesar 28,5 hingga 32,5, 29,0 hingga 32,5 dan 28,0 hingga 32,0 psu. Damar (2001) dalam kajiannya melaporkan bahwa nilai salinitas berkisar antara 26,9 hingga 33,4 psu pada bulan April sampai Juli 2000, Sementara, Razak & Muchtar (2003) dalam surveynya yang dilakukan pada bulan Juni 2003, menemukan nilai salinitas rendah yang berkisar antara 20,3 sampai 32,0 psu dengan nilai rata-rata sebesar 31,1 psu.

Pada awal musim panas, jumlah curah hujan rata-rata satu minggu sebelum dilakukan pengukuran masih terdeteksi pada tahun 2004 (0,2 hingga 1,0 mm) dan pada tahun 2006 (3,5 hingga 4,8 mm). Sementara itu, tidak ada curah hujan sama sekali selama musim panas dan musim peralihan dari musim hujan ke musim panas. Konsentrasi CDOM  $g_{440}$  terlihat tinggi pada awal musim panas (Juni) dan rendah pada musim panas dan musim peralihan dari musim panas ke musim hujan (Juli-Oktober) dan hal ini berkaitan dengan jumlah curah hujan yang turun dan sebaliknya juga ditemukan dengan salinitas. Maka dari itu, diduga bahwa CDOM di perairan pesisir dan perairan pantai di Teluk Jakarta mungkin terutama berasal dari daerah terrestrial sehingga masukan yang berasal dari sungai-sungai adalah sumber CDOM yang dominan.

Tabel 3.3. Koefisien penyerapan CDOM pada 440 nm, salinitas permukaan, konsentrasi chlorophyll-a, konsentrasi Bahan Tersuspensi Total (TSS) dan curah hujan rata-rata 1 minggu sebelum tanggal pengukuran (pengukuran CTD hanya dibuat pada perahu A saja).

Tanggal	Perahu	N	Penyerapan CDOM (cm <sup>-1</sup> )			Salinitas Permukaan (psu)			Klorofil-a (mg m <sup>-3</sup> )			Total Suspended Solid (mg l <sup>-1</sup> )			Curah Hujan (mm)
			Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata	Min	Max	Rerata	
21/06/04	A	29	0,005	0,159	0,037	31,402	32,174	31,836	0,298	3,967	0,890	2,0	27,2	8,2	0,2
	B	30	0,000	0,168	0,037	---	---	---	0,104	2,975	0,977	4,6	97,2	31,8	
24/08/04	A	32	0,000	0,023	0,007	31,539	32,625	32,362	0,060	2,142	0,552	7,2	31,6	15,3	0
	B	24	0,000	0,018	0,007	---	---	---	0,179	1,369	0,684	9,0	38,6	18,7	
09/09/04	A	29	0,000	0,012	0,007	31,964	32,736	32,500	0,000	1,309	0,400	12,0	56,4	25,4	0
	B	28	0,002	0,012	0,006	---	---	---	0,000	1,964	0,562	14,4	39,4	22,6	
01/10/06	A	19	0,002	0,008	0,005	32,585	33,054	32,780	0,582	3,298	1,697	116,8	136,4	125,5	0

### Pendugaan CDOM $g_{440}$ dari penginderaan jarak jauh MODIS

Hasil analisis pendugaan CDOM menunjukkan plot penyerapan CDOM pada panjang gelombang 440 nm (CDOM  $g_{440}$ ) terhadap nilai hasil koreksi cahaya atmosferik MODIS pada Band Biru (Band-3), Hijau (Band-4), dan Merah (Band-1), transformasi rasio cahaya Band Biru terhadap Band Hijau (Band-3/Band-4), Biru-Merah (Band-3/Band-1), dan Hijau-Merah (Band-4/Band-1), dan transformasi cahaya kromatisiti Biru ( $X$ ) = Band-3/(Band-3+band-4+Band1), cahaya kromatisiti Hijau ( $Y$ ) = Band-4/(Band-3+band-4+Band1), dan cahaya kromatisiti Merah ( $Z$ ) = Band-3/(Band-3+ band-4+Band1). Ploting ini berdasarkan data citra 8 Terra dan 6 Aqua-MODIS, di mana data yang diperoleh pada tanggal yang sama dan hampir bersamaan dengan waktu sampling (Lampiran 3.1).

Dari Gambar 3.1., tampak jelas bahwa tidak ada korelasi antara semua Band MODIS dengan CDOM  $g_{440}$ . Sama halnya, juga tidak ada korelasi antara cahaya transformasi Band Biru dengan Band Hijau (Band-3/Band-4), dan Band Hijau dengan Band Merah (Band-4/Band-1), dan cahaya transformasi kromatisiti Hijau, Band-4/(Band-3+band-4+Band1), dan cahaya transformasi kromatisiti Merah, Band-3/(Band-3+Band-4+Band1). Korelasi lemah terjadi antara rasio cahaya transformasi Biru ke Merah dengan CDOM  $g_{440}$  ( $R^2$ ) = 0,356. Korelasi kuat terjadi antara cahaya transformasi kromatisiti Biru CDOM  $g_{440}$ ,  $R^2$  = 0,775 dengan menggunakan regresi polinomial pangkat 3. Walaupun dijumpai korelasi kuat antara transformasi cahaya kromatisiti Biru dengan CDOM  $g_{440}$ , di mana  $R^2$  = 0,924 dengan persamaan regresi polinomial pangkat 5 tetapi tetap menggunakan persamaan 3 sebagai hasil final model pendugaan CDOM  $g_{440}$  di perairan Teluk Jakarta.

Persamaan tersebut:

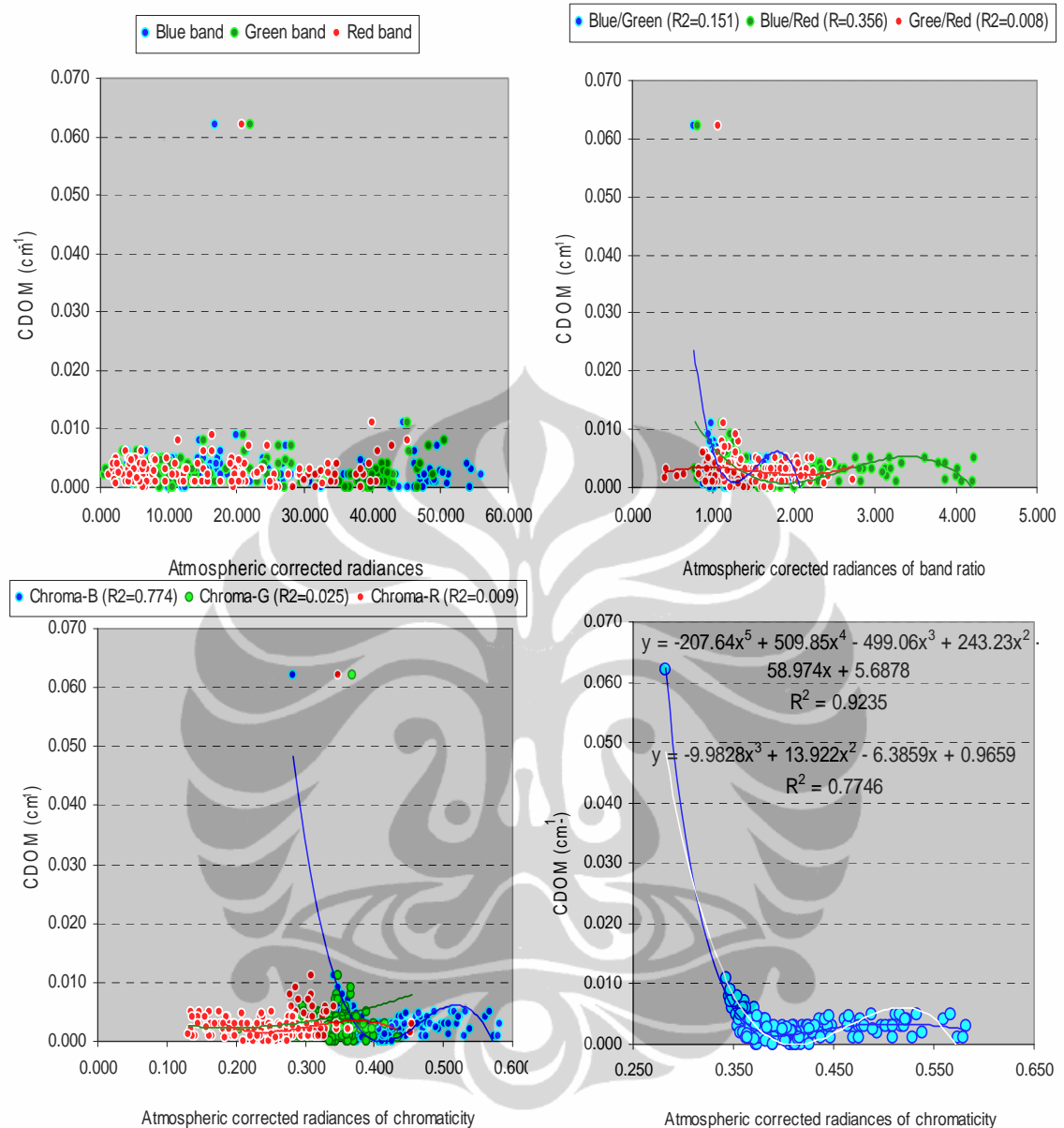
$$\text{CDOM } g_{440} = -207,64 * X^5 + 509,85 * X^4 - 499,06 * X^3 + 243,23 * X^2 - 58,974 * X + 5,6878 \dots\dots\dots 3)$$

Di mana:

$X$  = cahaya kromatisiti biru (Band-3/(Band-3+band-4+Band1));

$R^2$  = 0,924;  $N$  = 174;

$\text{RMS}_{\text{error}} \text{ CDOM } g_{440} = 0,0014 \text{ cm}^{-1}$  atau  $0,14 \text{ m}^{-1}$ .



Gambar 3.1. Ploting CDOM  $g_{440}$  dengan cahaya Biru, Hijau dan Merah dari MODIS, Band Hijau dan Merah MODIS (kiri atas), rasio cahaya Band Biru ke Band Hijau, Band Biru ke Band Merah dan Band Hijau dan Band Merah (kanan atas), cahaya Band Biru, Band Hijau dan Band Merah Kromatisiti (kiri bawah), dan model akhir.

### Hubungan antara CDOM $g_{440}$ dan salinitas permukaan laut

Salinitas permukaan laut (SSS) tidak memiliki sinyal warna (Ahn *et al.*, 2008; del Castillo & Miller, 2008), ini memungkinkan untuk menghubungkan

secara langsung antara SSS dengan data satelit. Dalam rangka menghasilkan algoritma empirik SSS di Teluk Jakarta. Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi bagaimana konsentrasi CDOM berbeda dengan SSS.

Dari Gambar 3.2. terlihat dari plotting CDOM  $g_{440}$  yang menyebar dengan SSS adanya hubungan terbalik yang kuat. Selama pengembangan model empiris untuk pendugaan SSS beberapa data dibuang karena adanya anomali, seperti tingginya hubungan CDOM dengan kadar permukaan salinitas. Hubungan antara CDOM dengan salinitas permukaan diekspresikan dalam persamaan, di bawah ini:

$$SSS = -67,297 * CDOM + 32,891 \quad (N = 45; R^2 = 0,88) \dots \dots \dots 4)$$

Dengan mengganti persamaan 3 ke dalam persamaan 4, memungkinkan dibuatnya pemetaan salinitas permukaan Teluk Jakarta dengan sensor MODIS, yang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SSS = -67,297 * \{-207,64 * X^5 + 509,85 * X^4 - 499,06 * X^3 + 243,23 * X^2 - 58,974 * X + 5,6878\} + 32,891 \dots \dots \dots 5)$$

Di mana:

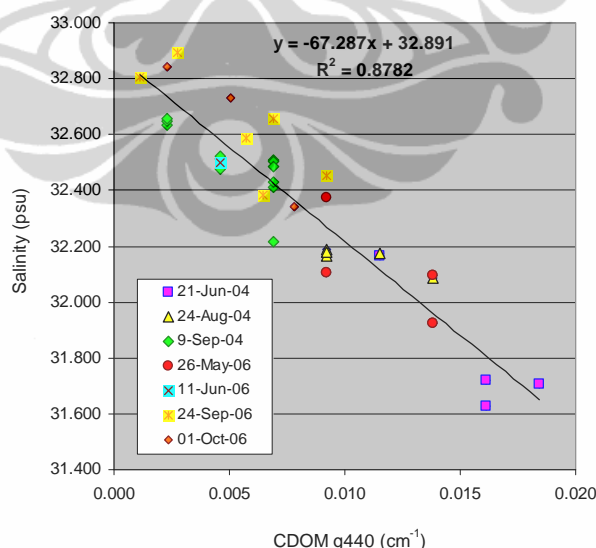
X = Cahaya kromatisiti Biru yang terkoreksi Band-3/(Band-3+Band-4+Band1).

RMS error antara hasil observasi dan hasil dugaan salinitas untuk setiap tanggal antara salinitas yang diamati dan salinitas yang diduga untuk setiap tanggal bervariasi antara 0,310 psu untuk nilai terendah (24 September 2004) dan 1,165 psu untuk nilai tertinggi (4 Mei 2004), Keseluruhan RMS error untuk setiap tanggal pengamatan adalah 0,93 psu. Binding & Bowers (2003) di dalam penelitian mereka di laut Clyde, Skotlandia mendapatkan bahwa hubungan linier antara SSS dan seperti:  $SSS = 35,6 - 11,5 * CDOM_{g_{440}}$  dengan  $R^2 = 0,93$  dan menghasilkan RMS error sebesar 1,1 psu dengan menggunakan sensor SeaWiFS. Nababan (2005) mengembangkan suatu algoritma untuk pendugaan SSS laut Utara Meksiko dengan menggunakan data SeaWiFS. Model pendugaannya adalah:  $SSS = 36,59 - 29,86 * CDOM_{g_{443}}$  ( $n=8771$ ,  $R^2=0,86$ , SSS berkisar antara 16 sampai 36 psu, persentase error rata-rata adalah 0,82%-2,92%; (sesuai dengan  $\pm 0,29-1,0$  psu). Model yang ia buat adalah baik untuk menduga SST pada



musim semi dan musim hujan, tetapi bias (penyimpangan) persentase error lebih tinggi, yaitu antara 0,67% sampai 10,33% sesuai dengan  $\pm 0,24$  sampai  $\pm 3,2$  psu dalam menduga SSS selama musim panas. Akan tetapi, Ahn *et al.* (2008) dalam pendugaan salinitas di laut China Timur dengan menggunakan data SeaWiFS melaporkan adanya hubungan eksponensial non-linier dengan tingkat akurasi yang relatif lebih tinggi, yaitu  $\pm 1$  psu.

Sementara Sasaki *et al.* (2008) mengembangkan model pendugaan SSS dengan menggunakan data satelit MODIS seperti :  $SSS = 35,3 - 27,3 * CDOM_{g400}$  ( $n=35, R^2=0,80$ ), untuk  $Chl-a < 1,3 \text{ mg.m}^3$ , tetapi untuk  $Chl-a \geq 1,3 \text{ mg.m}^3$  modelnya adalah :  $SSS = 33,9 - 12,2 * CDOM_{g400}$  ( $n=8, R^2=0,91$ ). Kedua model tersebut secara konsisten dapat menduga SSS selama terjadinya arus aliran yang tinggi di sungai Changian selama musim panas tahun 2002 sampai 2007 dengan tingkat akurasi sekitar  $\pm 1,0$  psu. Berdasarkan data kami dan data yang diperoleh peneliti lain, nampak bahwa pendeteksian SSS dengan menggunakan satelit warna laut adalah metode yang layak digunakan untuk memantau lingkungan perairan pantai. Peta salinitas permukaan dapat dibuat dengan menggunakan persamaan 5 yang menjelaskan salinitas sebagai fungsi dari CDOM.



Gambar 3.2. Hubungan CDOM  $g_{440}$  dengan kandungan salinitas permukaan di Teluk Jakarta.

### **Implementasai citra warna laut dengan satelit MODIS**

Algoritma empiris yang tergambar dalam persamaan 5 diterapkan pada sejumlah data citra satelit Terra dan Aqua MODIS untuk membuat peta penyebaran CDOM dan SSS di Teluk Jakarta (Gambar 3.3). Peta-peta ini tidak hanya menggunakan data satelit Terra dan Aqua MODIS yang secara bersamaan dengan data *in situ*, tetapi algoritma ini juga diterapkan pada data citra lainnya pada bulan-bulan yang berbeda, khususnya pada musim hujan (Januari sampai awal Juni) agar dapat memperoleh gambaran yang lengkap tentang SSS dalam 1 tahun (2004). Berdasarkan pada peta-peta tersebut, salinitas permukaan Teluk Jakarta Bay terlihat berkisar antara 24,0-33,5 psu. Kisaran ini adalah yang baik sesuai dengan survey lapangan yang dilakukan pada masa lalu di Teluk Jakarta (Ilahude, 1995; Damar, 2001; Razak & Muchtar, 2003). Akan tetapi, salinitas permukaan yang dihasilkan dari satelit Terra MODIS memperlihatkan kecenderungan nilai perkiraan yang lebih tinggi, yaitu 0,5 psu dibandingkan dengan yang diperoleh dari satelit Aqua MODIS, walaupun pengaruh atmosferik telah dikoreksi untuk seluruh data dengan menggunakan metode yang sederhana (data citra tanggal 4 Mei, 21 Juni, 24 Agustus, 9 dan 25 September 2004).

Gambar 3.3.1-3.3.3 menunjukkan bahwa konsentrasi CDOM yang tinggi dan salinitas yang rendah terdapat di dekat garis pantai, terutama terkonsentrasi di wilayah yang dikenal dengan limpasan arus air tawar melalui sungai-sungai. Pengaruh air tawar yang kuat terdeteksi pada data citra pada musim hujan bulan Januari sampai bulan Februari dan berlanjut hingga akhir musim peralihan dari musim hujan ke musim kemarau 4 Mei 2004, khususnya di sekitar muara sungai-sungai berukuran sedang, seperti sungai Cisadane di bagian Barat dan sungai Citarum di bagian Timur.

Pengaruh air tawar dari sungai-sungai menurun secara cepat setelah bulan Juni, tetapi masih terdeteksi sebagai garis sempit beberapa ratus meter di depan garis pantai hingga akhir musim kemarau (Agustus). Pada permulaan musim peralihan dari musim kemarau ke musim hujan (September), air tawar yang berasal dari sungai-sungai hampir tidak terlihat sama sekali di Teluk Jakarta dan seluruh wilayah Teluk dipenuhi oleh air dengan salinitas yang lebih tinggi, yaitu > 32 psu. Akan tetapi, salinitasnya mulai terlihat lagi pada tanggal 24 Oktober

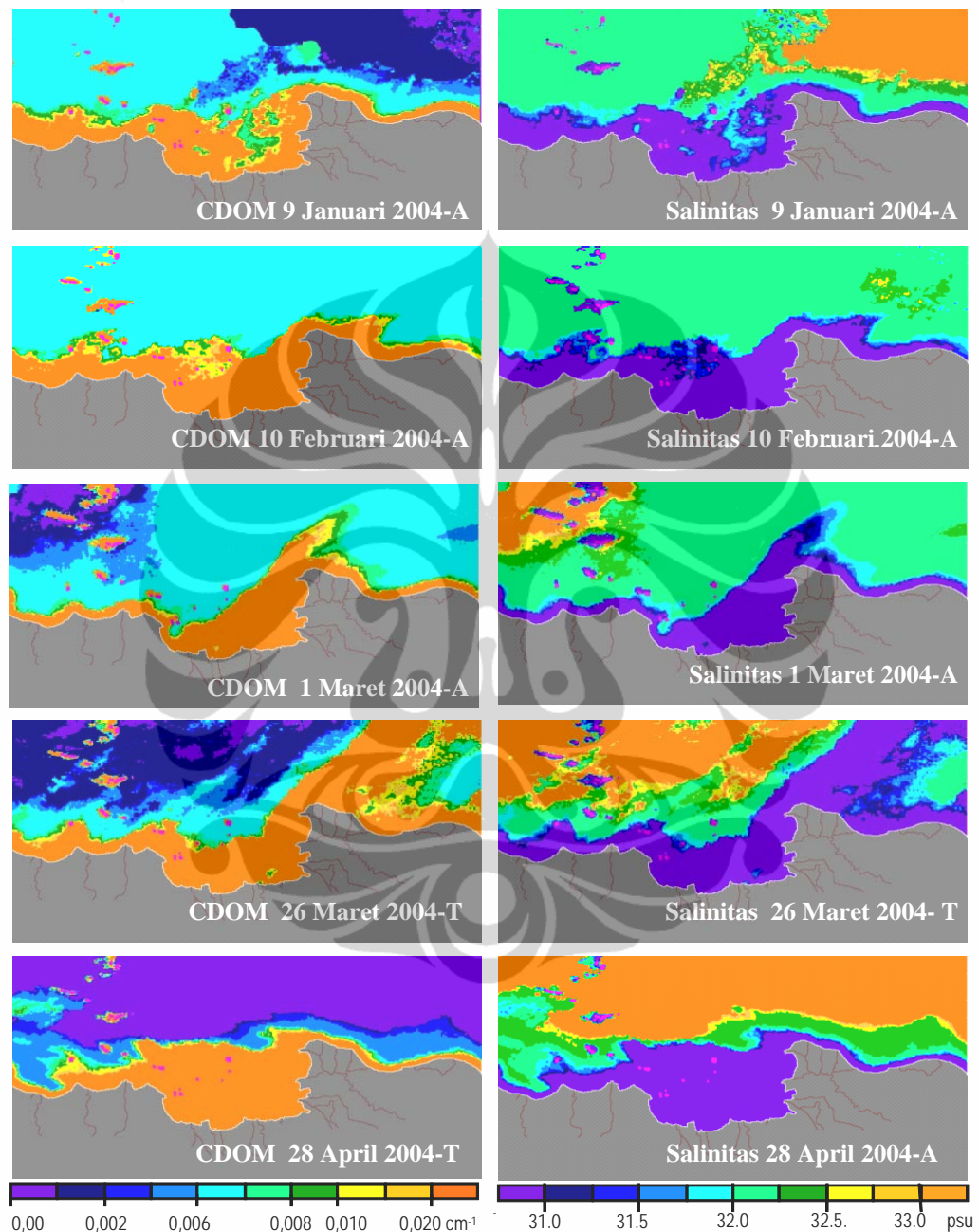
2004 dan secara cepat meningkat pada bulan November 2004 hingga salinitas rendah menutupi hampir seluruh wilayah perairan Teluk Jakarta.

Peta penyebaran salinitas permukaan pada Gambar 4 juga menampakkan beberapa sifat oseanografik yang menarik. Tingkat salinitas permukaan terlihat lebih tinggi, yaitu  $> 32$  psu di dalam dan di luar Teluk Jakarta Bay sepanjang musim. Bidang salinitas permukaan ditemukan selama musim hujan sampai peralihan musim hujan ke musim panas (Januari sampai Mei) dan masih tetap sama hingga akhir musim panas (Agustus 2004). Memasuki awal musim peralihan dari musim panas ke musim hujan (September) bidang salinitas adalah  $>32$  psu terdorong masuk ke Teluk Jakarta Bay dan lebih mendekat ke garis pantai dan kemudian menghilang kembali pada akhir bulan September.

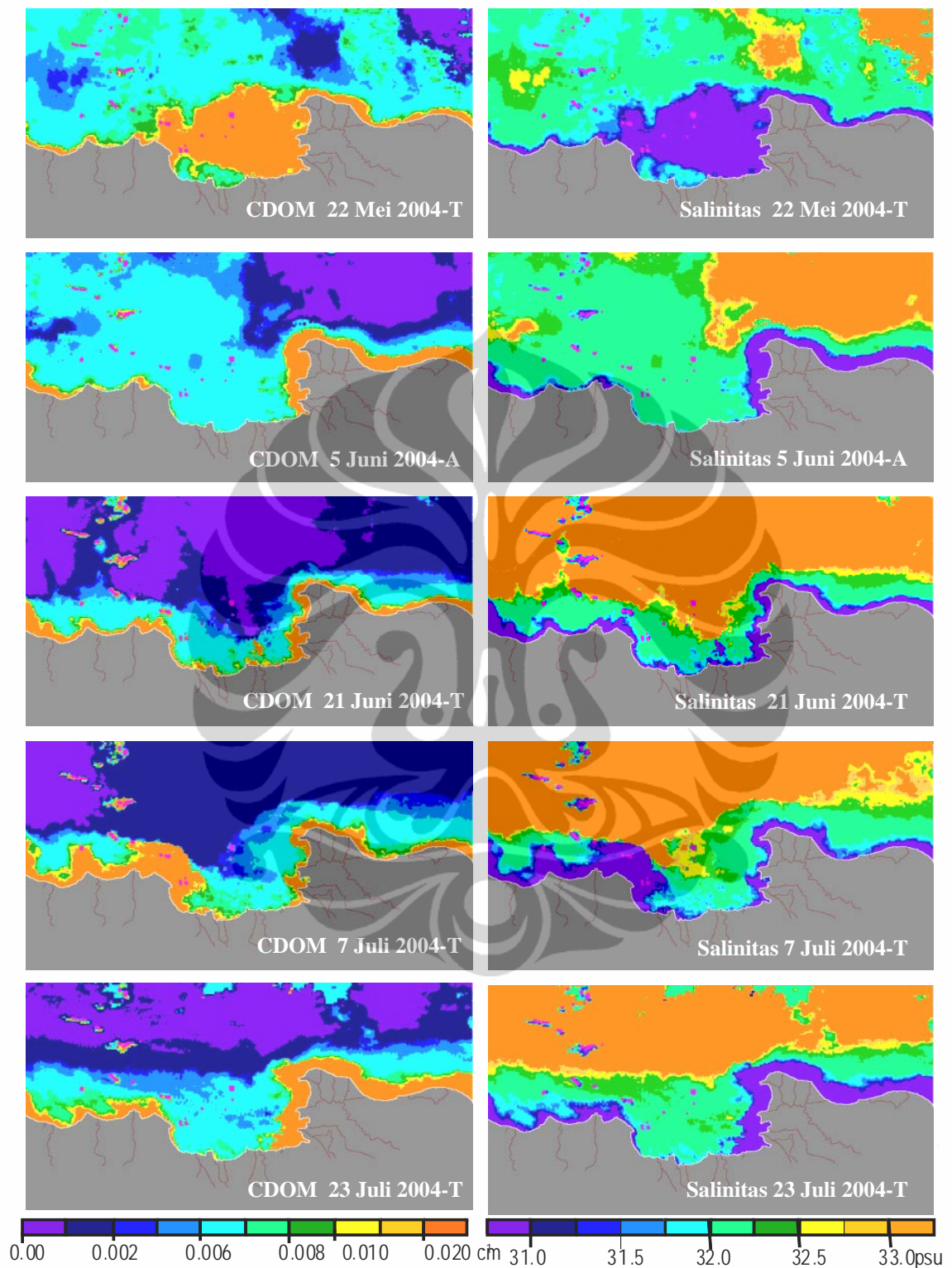
Dalam kondisi ini, seluruh permukaan perairan dipenuhi dengan salinitas  $> 32$  psu hingga pertengahan bulan Oktober. Pada akhir bulan Oktober, bidang salinitas permukaan mulai terbentuk kembali dan mulai bergerak keluar Teluk Jakarta.

Alasan memilih saluran untuk pengamatan darat adalah karena Teluk Jakarta dikategorikan sebagai perairan kasus-2 di mana saluran samudernya kadang-kadang tidak cocok (sesuai) untuk kajian ini, kecuali untuk perairan kasus-1 (D'Sa *et al.*, 2002). Lebih lanjut, saluran warna laut memiliki sinyal yang lebih tinggi dan lebih peka terhadap permukaan yang lebih gelap dibandingkan dengan saluran daratan yang dipusatkan pada panjang gelombang yang sama tengah (Gao *et al.*, 2007). Walaupun saluran aplikasi daratan memiliki tingkat kepekaan yang lebih rendah dari pada saluran satelit MODIS, akan tetapi perbandingan dengan sensor lainnya seperti sensor Landsat-7 ETM+, Hu *et al.* (2004) menentukan saluran ini memiliki tingkat kepekaan yang cukup memadai (4-5 kali lebih peka dari pada sensor Landsat-7 ETM) untuk aplikasi perairan. Lebih lanjut, saluran aplikasi laut yang memiliki resolusi spasial 1 km akan menjadikan pengamatan dan pemetaan kualitas perairan Teluk Jakarta menjadi lebih kasar dibandingkan dengan saluran aplikasi daratan yang memiliki resolusi spasial sebesar 500 m. Disebabkan path atmosferik yang pada satelit, maka data citra penginderaan jarak jauh harus dikoreksi terlebih dahulu pengaruh

atmosferiknya sebelum digunakan (Maul, 1985; Giardino *et al.*, 2001; Thiemann & Kaufmann, 2002).

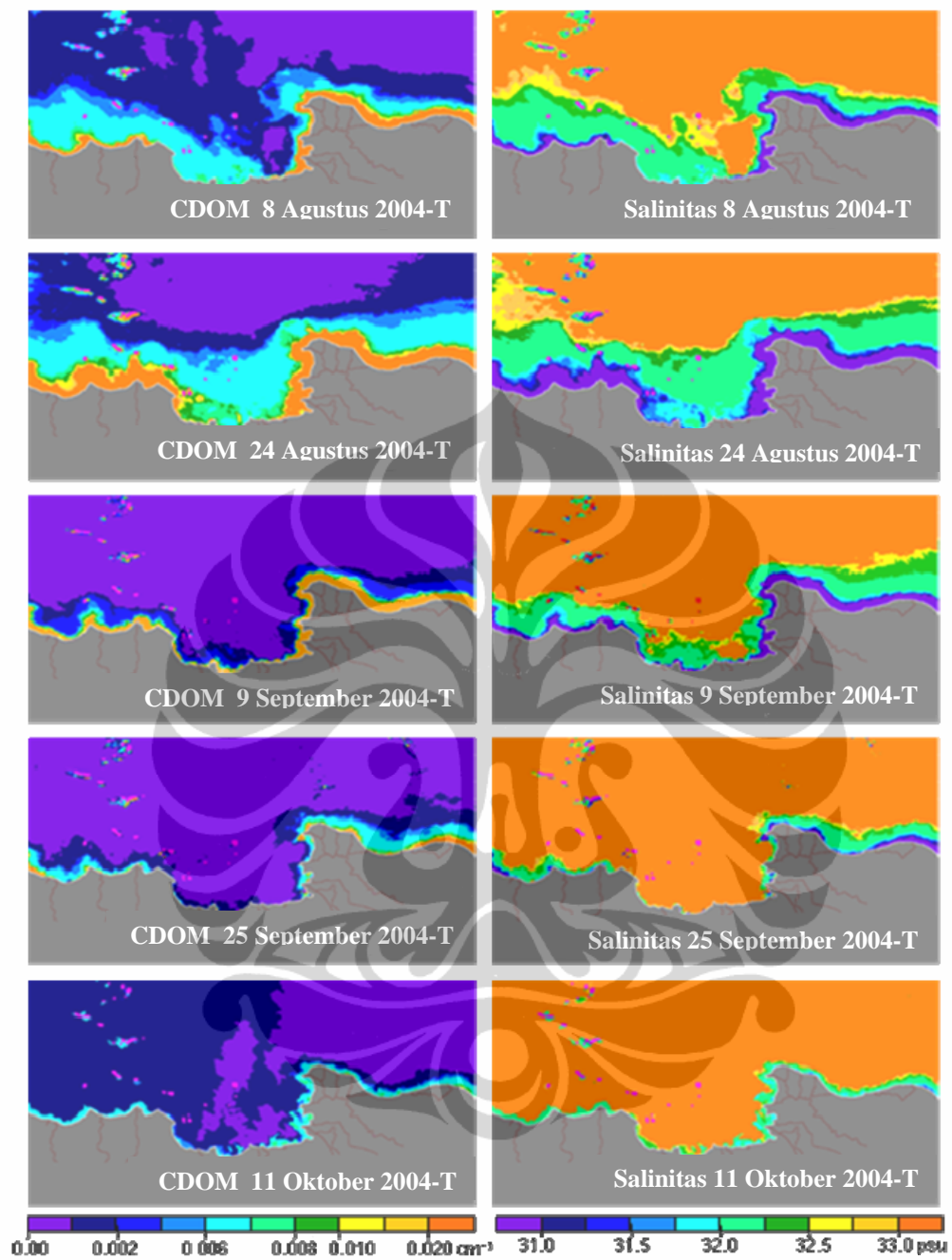


Gambar 3.3.1. Peta CDOM dan salinitas permukaan yang dihasilkan dari persamaan 3 dan persamaan 5 pada bulan Januari hingga April 2004 (T = Terra; A = Aqua).



Gambar 3.3.2. Peta CDOM dan salinitas permukaan yang dihasilkan dari persamaan 3 dan persamaan 5 dari bulan Mei sampai bulan Juli 2004 (T =Terra; A=Aqua).





Gambar 3.3.3. Peta CDOM dan salinitas permukaan yang dihasilkan dari persamaan 3 dan persamaan 5 dari bulan Agustus sampai

## PEMBAHASAN

Prosedur koreksi atmosferik yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan prosedur koreksi atmosferik sederhana yang disebut dengan model Substraksi Piksel Gelap atau Obyek Piksel/Dark Pixel or Dark Object Subtraction (DOS) (Richards, 1986; Ritchie & Cooper, 1987; Brivio *et al.*, 2001) untuk mengoreksi pengaruh atmosferik. Prosedur ini didasarkan pada asumsi bahwa tiap Band memiliki beberapa piksel atau mendekati nilai 0 nilai digital (ND), efek atmosferik telah ditambah nilai konstan pada setiap pikselnya. Akibatnya, bila nilai ND minimum pada histogram citra lebih besar dari 0, maka perbedaan antara 0 dan nilai minimum ini disebabkan oleh kondisi atmosfer atau derau sensor (USGS, 1984; Richard, 1986, Ritchie & Cooper, 1987).

Dalam pengembangan model pendugaan klorofil-a yang digunakan untuk memantau kejadian marak alga (HAB) di Teluk Jakarta berdasarkan plotting data citra satelit (30 Terra and 18 Aqua), hasil pengukuran *in situ* dari tahun 2004, 2005 dan 2006. Dari 873 data hasil pengukuran *in situ* konsentrasi klorofil-a pada tahun 2004, 2005 dan 2006 didapatkan algoritma yang mirip sama di mana konsentrasi klorofil-a sangat berkaitan erat dengan cahaya kromatisiti Merah dengan menggunakan persamaan regresi polinomial orde 3.

Akan tetapi, beberapa penelitian melaporkan bahwa hubungan antara CDOM dan data penginderaan jarak jauh adalah berbentuk linier sederhana. Binding & Bowers (2003) di perairan laut Clyde, pantai Barat Skotlandia menemukan bahwa CDOM  $g_{440}$  sangat berkaitan erat dengan rasio pemantulan cahaya Band Merah ke Band Biru (R665/R400) berdasarkan data dengan menggunakan data SeaWiFS) di mana  $R^2 = 0,94$  dan RMS error antara obyek yang diamati dan obyek yang diduga  $g_{440}$  adalah sebesar  $0,19 \text{ m}^{-1}$ , yang hampir sama dengan hasil penelitian ini. Ahn *et al.* (2008) di laut China Timur (ECS) juga mendapatkan hubungan linier yang sederhana CDOM  $g_{440}$  dan rasio pemantulan cahaya Band Biru ke Band Hijau (R412/R555) dengan menggunakan data SeaWiFS  $R^2 = 0,67$ . Sama seperti kajian di laut China Timur (ECS), tetapi di bawah pengaruh sungai Changjian, Sasaki *et al.* (2008) mendapatkan analisis regresi yang sangat cocok mendekati rasio 1:1 antara data MODIS dan CDOM

$g_{400}$  dengan  $R^2 = 0,62$  dan  $RMS\ error = 0,092$ . Kutzer *et al.* (2005) menemukan hubungan yang kuat antara CDOM  $g_{400}$  dan rasio Band Hijau ke Band Merah dengan menggunakan sensor *Advanced Land Imager (ALI)* di ekosistem danau di Finlandia dan Swedia dengan  $R^2=0,73$ .

Telah diketahui bahwa fitoplankton menyerap cahaya dengan sangat kuat di dua bagian spektrum tampak yang disebabkan oleh ketersediaan klorofil-a. Penyerapan maksimum pada wilayah Biru dengan panjang gelombang puncaknya pada Band biru (443 nm) dan yang kedua, dan yang kedua adalah pada wilayah Merah dengan panjang gelombang puncaknya mencapai sekitar 680 hingga 685 nm (Kirk, 1994). Jadi, pada wilayah Band Biru, baik CDOM maupun Chl-a hampir memiliki respon sinyal yang sama dan hal ini kemungkinan satu sama lain saling ikut campur. Pengukuran konsentrasi klorofil-a dan total suspended solid (TSS) selama periode sampling juga dilakukan, kemudian mulai meneliti apakah 2 rangkaian parameter tersebut memiliki dampak yang signifikan terhadap sinyal warna, yang manakah yang mungkin turut ikut campur dalam hubungan antara CDOM dan data penginderaan jarak jauh dengan menggunakan satelit.

Analisis terhadap koefisien penyerapan CDOM menunjukkan bahwa konsentrasi Chl-a berkisar antara 0,001 hingga  $5.5\ mg\ m^{-3}$ . Nilai tertinggi dari konsentrasi Chl-a terdeteksi pada tanggal 24 September 2006 ( $5.50\ mg\ m^{-3}$ ), 21 Juni 2004 ( $3.97\ mg\ m^{-3}$ ), 9 September 2004 ( $3.39\ mg\ m^{-3}$ ) dan 1 Oktober 2006 ( $3.30\ mg\ m^{-3}$ ) (Tabel 3.3.). Akan tetapi, nilai rerata dari masing-masing data adalah relatif rendah untuk wilayah perairan muara ( $< 2\ mg\ m^{-3}$ ) dan tidak menunjukkan suatu pola penyebaran musiman yang signifikan. Juga tidak ada hubungan sama sekali antara rangkaian data CDOM  $g_{440}$  dan konsentrasi Chl-a pada masa musim peralihan dari musim hujan sampai awal musim panas, di samping pada musim panas dan pada masa peralihan dari musim panas ke musim hujan, kecuali pada tanggal 26 Mei 2006 dan pada tanggal 29 Juli 2006 yang menunjukkan determinasi koefisien  $R^2$  yang lemah. (Lampiran 3.2.).

Korelasi yang buruk antara CDOM  $g_{440}$  dan konsentrasi Chl-a menunjukkan bahwa fitoplankton (dinyatakan sebagai Chl-a) memainkan peranan kecil dalam mengatur konsentrasi CDOM di Teluk Jakarta. Penemuan ini mirip dengan hasil yang diperoleh Chen *et al.* (2007) yang menunjukkan bahwa di



Teluk Tampa CDOM  $g_{400}$  tidak berkorelasi dengan konsentrasi Chl-a pada musim panas, tetapi ada korelasi sedang yang terdeteksi pada musim hujan dan korelasi ini kemungkinan besar hasil dari kejadian yang kebetulan pada saat bersamaan antara konsentrasi nutrisi yang tinggi dan CDOM, cukup menunjukkan adanya suatu hubungan sebab akibat yang tidak bisa dipisahkan antara Chl-a dan CDOM.

Nababan (2005) mengadakan pengukuran kontribusi fitoplankton terhadap pembentukan CDOM *in situ* dengan menganalisis hubungan antara CDOM  $g_{443}$  sebagai fungsi salinitas dan sebagai fungsi salinitas dan konsentrasi Chl-a. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada peningkatan nilai  $R^2$  yang cukup signifikan antara CDOM  $g_{443}$  vs salinitas dan vs salinity + konsentrasi Chl-a selama musim gugur di banyak wilayah dekat pantai di Barat laut Teluk Meksiko. Hal ini memberikan kesan bahwa di banyak wilayah pesisir tidak ada peningkatan konsentrasi CDOM yang berkaitan dengan meningkatnya konsentrasi klorofil-a dan juga menunjukkan bahwa sumber utama CDOM selama musim gugur dan musim dingin adalah pemasukan muatan dari sungai.

Sejak Teluk Jakarta dipengaruhi oleh 13 sungai yang berukuran sedang dan kecil, diharapkan konsentrasi total suspended solid (TSS) yang berasal dari muatan sungai akan berdampak signifikan terhadap warna sinyal pada panjang gelombang tampak (Binding & Bowers, 2003). Oleh karena itu, diperlukan juga analisis temporal dan spasial TSS dan pengaruhnya terhadap CDOM di Teluk Jakarta. Sama seperti Chl-a, konsentrasi TSS tidak memperlihatkan pola musiman yang signifikan, tetapi konsentrasinya sangat berbeda antara tahun 2004 dan tahun 2006.

Konsentrasi TSS rata-rata tahun 2006 adalah 2 sampai 3 kali lebih besar dari pada di tahun 2004. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pembangunan tata guna lahan yang sangat pesat, seperti penimbunan tanah reklamasi pantai untuk membangun perumahan di banyak lokasi di sekitar Teluk Jakarta (Lampiran 3.3.) Rerata nilai konsentrasi TSS pada tahun 2004 dan 2006 secara berurutan adalah berkisar antara 8,2 hingga 45,4  $mg\ l^{-1}$ , dan antara 113,7 hingga 141,1  $mg\ l^{-1}$ , (Tabel 3.3.).

Lampiran 3.2. memperlihatkan koefisien determinasi hubungan antara CDOM  $g_{440}$  dan konsentrasi TSS, yang menunjukkan nilai yang sangat rendah

untuk seluruh rangkaian data pada semua musim. Nilai koefisien determinasi yang rendah ini memberi kesan bahwa kontribusi CDOM dari sedimen dan/atau dari resuspensi sedimen juga dapat diabaikan. Kajian lain di beberapa perairan pantai dan perairan muara lain telah memberi kesan bahwa CDOM bisa berasal dari dasar sediment (Boss *et al.*, 2001; Burdige *et al.*, 2004).

Akan tetapi, sebagai akibat dari adanya air tawar, CDOM di kebanyakan perairan pesisir dan muara berkorelasi kuat terbalik dengan salinitas (Jerlov, 1968; Monahan & Pybus, 1978; Hu *et al.*, 2004; Chen *et al.*, 2007). Oleh karena itu, CDOM telah diajukan sebagai wakil untuk pedugaan SSS dengan menggunakan beragam sensor warna laut satelit seperti yang dilakukan sebelumnya oleh D'Sa *et al.*, (2002); Hu *et al.*, (2003); Binding & Bowers (2003), Nababan (2005); Ahn *et al.*, (2008); Sasaki (2008). Meskipun ada banyak laporan yang menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara CDOM dan SSS, tetapi Sasaki *et al.*, 2005 melaporkan hasil pengamatan mereka agak tidak diharapkan hasilnya seperti di wilayah Teluk Funka, Hokaido, Jepang, bahwa tidak ada hubungan antara salinitas dan CDOM, sebab salinitas di perairan ini kebanyakan dikendalikan oleh es yang mencair dan menyatu dengan perairan Oyashio. Jadi, hal ini tidak begitu dipengaruhi oleh sungai.

Penemuan kajian ini merupakan hal yang konsisten dengan kebanyakan kajian lainnya yang menunjukkan bahwa variabilitas spasial dan temporal CDOM di kebanyakan perairan muara banyak sekali dipengaruhi oleh muatan yang berasal dari sungai atau jumlah curah hujan yang turun (Lampiran 3.4.), kecuali dengan apa yang terjadi di Teluk Funka, Hokaido, Jepang dan yang terjadi di wilayah tepi Bahama.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan, bahwa:

1. Variabilitas konsentrasi CDOM di perairan Teluk Jakarta tertinggi dijumpai pada awal musim hujan ke musim kemarau dan awal musim kemarau ke musim hujan.
2. Sebaran salinitas permukaan laut (SSS) Teluk Jakarta menunjukkan pola korelasi terbalik dengan CDOM. CDOM sama sekali tidak berkorelasi dengan konsentrasi klorofil-a dan TSS. Hal ini menunjukkan bahwa perairan Teluk Jakarta lebih banyak dipengaruhi oleh masukan material yang berasal dari daratan.
3. Sumber utama CDOM di perairan Teluk Jakarta berasal dari sungai.

### B. Saran

1. Pemantauan kualitas perairan dengan menggunakan parameter CDOM perlu dilakukan secara reguler dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jarak jauh (*remote sensing*). Algoritma yang digunakan dalam kajian ini harus tetap dikaji terutama yang menyangkut tingkat keakurasiannya.
2. Kualitas perairan Teluk Jakarta dipengaruhi oleh masukan dari daratan, maka dalam pengelolaannya harus terpadu (*integrated management*) mulai dari hulu sampai ke hilir dan harus melibatkan seluruh pemangku kepentingan (*stake holder*) dan pemerintah daerah yang wilayahnya dilintasi oleh sungai-sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada: Kementerian Negara Riset dan Teknologi yang telah memberikan beasiswa untuk melanjutkan studi. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Dr. Idwan Suhardi (Deputi Pendayagunaan Iptek), Ir. Kemal Prihatman, M.Eng., yang telah memberikan izin selama menyelesaikan penelitian ini. Tak lupa kami ucapkan pula terima kasih sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Sam Wouthuyzen, MSc., APU yang telah mengizinkan penggunaan data lapangan dan data citra satelit dalam penelitian ini, dan kepada Ladsweb.nascom.nasa.gov yang telah memberikan banyak data citra satelit Terra dan Aqua MODIS. Demikian pula kepada rekan-rekan sejawat Ir. Tumpak Sidabutar, MSc., Drs. Salam Tarigan, MSi. yang membantu dalam analisis data fitoplankton dan teknisi (saudara Izaak Nikijuluw, Johanes Lakalet, Salim Picalohata, dan Abdulah Salatalohy) yang telah membantu pekerjaan di lapangan.

## DAFTAR ACUAN

- Ahn Y. H & P. Shanmugam. 2004. New methods for correcting the atmospheric effects in Landsat imagery over turbid (Case-2) waters. *Kor. J. Remote Sens.* **20** (5): 1-11.
- Ahn, Y. H., P. Shanmugam & J. E. Moon. 2006. Retrieval of ocean colour from high resolution multi-spectral imagery for monitoring highly dynamic ocean features. *Int. J. Remote Sens.* **27**: 367-392.
- Ahn, Y.-H., P. Shanmugam. 2007. Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal waters *Remote Sens. Environ.* **103**: 419-437.
- Ahn, Y.H., P. Shanmugam, J.E.Moon & J.H. Ryu. 2008. Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea. *Annales Geophysicae* **26** (7): 2019-2035.
- Arifin, Z. 2003. *Ecosystem and the productivity of Jakarta Bay*. Final Report of Competitive Project (LIPI) in Indonesian with English Abstract. 77 pp.

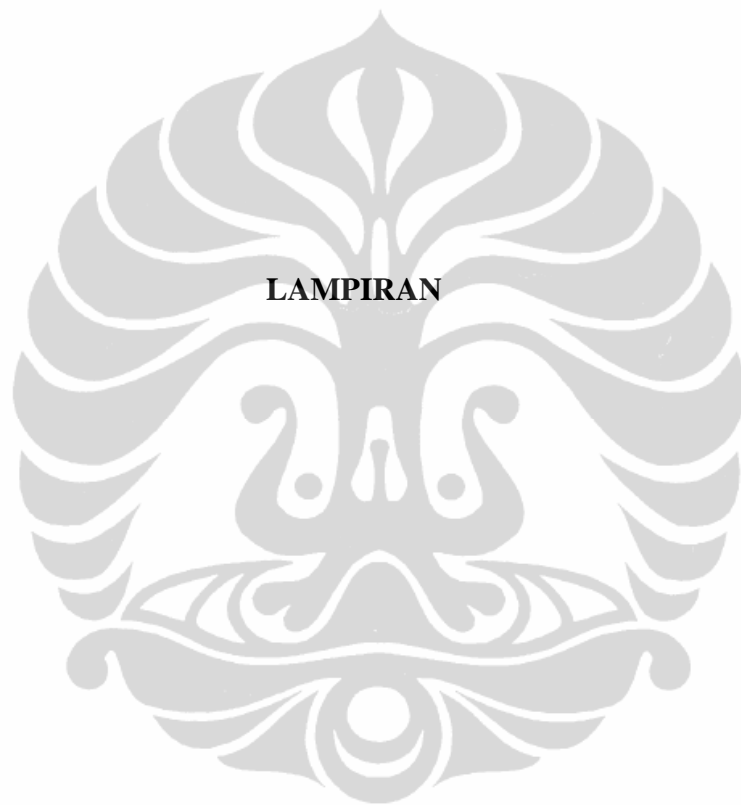
- Arifin, Z. 2005. Pollution prevention and reduction strategies and implementation in the Jakarta Bay. Paper presented in *Workshop on Ecosystem Management and Interrelated River Basin, Estuaries and Coastal Seas. Masan, Republic of Korea. June 1 – 3, 2005, 21 p.*
- Barale, V. 1986. Space and time variability of the surface color field in the Northern Adriatic Sea. *J. of Geophysical Res.* **91**. No. C11:12957-12974.
- Binding, C.E. & D.G. Bowers. 2003. Measuring the salinity of the Clyde Sea from remotely sensed ocean color. *Estuarine Coastal and Shell Science* **57**: 605-611.
- Binding, C.E., D.G. Bowers, & E.G. Mitchell-Jacob. 2005. Estimating suspended sediment concentration from ocean color measurements in moderately turbid waters: the impact of variable particle scattering properties. *Remote Sensing of Environment* **94**: 373-383.
- Boss, E., W.S. Pegau, J.R.V. Zaneveld & A.H. Barnard. 2001. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf. *Journal of Geophysical Research* **106** (C5): 9499–9507.
- Boss, E. & J.R.V. Zaneveld. 2003. The relation of bottom substrate on inherent optical properties; evidence of biogeochemical processes. *Limnol Oceanogr.* **48** (1 part 2):346–354.
- Bowers, D.G. & H.L. Brett. 2008. The relationship between CDOM and salinity in estuaries: An analytical and graphic solution. *Journal of Marine Systems* **73**: 1-7.
- Brivio, P., C. Giardino & E. Ziololi. 2001. Determination of chlorophyll concentration changes in lake Garda using an image-based radiative transfer code for Landsat TM images. *Int. J. Remote Sensing* **22**(2): 487-502.
- Bukata, R.P., J.E. Burton & J.H. Jerome. 1983. Use of chromaticity in remote sensing measurement of water quality. *Remote Sensing of Environment* **13**:161-177.
- Burdige, D., J., Kline & S.W., Chen. 2004. Fluorescent dissolved organic matter in marine sediment pore waters. *Marine Chemistry* **89** (1–4): 289–311.
- Castillo C.E.D. 2008. On the use of ocean color remote sensing to measure the transport of dissolved organic carbon by the Mississippi River Plume. *Remote Sensing of Environment* **112** (3): 836-844.
- Chen, R.F., P. Bisset, P. Cole, R.N. Comny, G.B. Garnder, M.A. Moran, X. Wang, M.L., Wellse, P., Whelan & R.G. Zep. 2004. Chromophoric dissolved organic matter (CDOM) source characterization in the Louisiana Bight. *Marine Chemistry* **89**: 257– 272.

- Chen, Z., C. Hu, R.N. Conmy, F. Muller-Karger & P. Swarzenki. 2007. Colored dissolved organic matter in Tampa Bay, Florida. *Marine Chemistry* **104**: 98-109.
- Damar, A. 2001. Jakarta Bay: The nutrients, Chlorophyll-a and Primary Production. Ph.D Dissertation. Forschungs-und Technologiezentrum-Westküste, Hafentörn, D-25761, Büsum, Germany.
- Del Castillo, C.E. & R.L. Miller. 2008. On the use of ocean color remote sensing to measure the transport of dissolved organic carbon by the Mississippi River Plume. *Remote Sensing of Environment* **112**: 836–844.
- D'Sa, E.J., C. Hu, F.E. Muller-Karger & K.L. Carder. 2002. Estimation of colored dissolved organic matter and salinity fields in case 2 waters using SeaWiFS: Examples from Florida Bay and Florida Shelf. *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Science)*, 111, No. 3, September 2002, pp. 197-207.
- Fischer, J. & Kronfeld, U. 1990. Sun-simulated chlorophyll fluorescence : Influence of oceanic properties. *International Journal Remote Sensing* **11** (12) : 2125-2147.
- Gao, B.C., M.J., Momtes, R.R, Li, H.M., Dierssen & C.O., Davis. 2007. An atmospheric correction for Remote sensing of bright coastal waters using MODIS land and ocean Channels in the solar spectral region. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* **45**(6):1835-1843.
- Giardino, C., M. Pepe, P.A. Brivio, P. Ghezzi & E. Zilioli. 2001. Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery. *The Science of the Total Environment* **268**:19-29.
- Holligan P.M., T. Aarup & S.B. Groom. 1989. The North Sea satellite atlas. *Continental Shelf Research* **9**(8): 665-764.
- Hu, C., F.E. Muller-Karger, D.C., Biggs, K.L. Carder, B. Nababan, D. Nadeu & J. Vanderbloemen. 2003. Comparison of ship and satellite bio-optical measurements of the continental margin of the NE Gulf of Mexico. *Int. J. Rem. Sen.* **24**(13): 2597-2612.
- Hu, C., Z. Chen, D., T.D. Clayton, P. Swarzenki, J.C. Brock & F.E. Muller-Karger, 2004. Assessment of estuarine water-quality indicators using MODIS medium-resolution bands: Initial results from Tampa Bay, FL. *Remote Sensing of Environment* **93**: 423–441.
- Ilahude, A.G. 1995. Distribution of temperature, salinity, Sigma-T, and Nutrients in The Jakarta Bay. Suyarso (ed), *Oceanography Atlas of Jakarta Bay*. Research Center for Oceanography, Indonesian Institute of Sciences, Jakarta: 29-100,
- IOCCG. 2000, *Remote Sensing of Ocean Color in Coastal, and Other optically-Complex Waters*. Sathyendranath, S. (ed). Report of The International Ocean Colour Coordinating Group No.3 IOCCG, Dartmouth. Canada.

- Jerlov, N. G. 1968. *Optical oceanography*. Amsterdam: Elsevier. 194 pp.
- Keith, D.J., J. A. Yoder & S. A. Freeman. 2002 . Spasial and Temporal Distribution of Coloured Dissolved Organic Matter (CDOM) in Narragansett Bay, Rhode Island: Implications for Phytoplankton in Coastal Waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **55**: 705–717.
- Kirk, J.T.O. 1994. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystem*. Cambridge University Press. 509 pp.
- Kostoglidis, A., C.B. Pattiaratchib & D.P. Hamilton. 2005. CDOM and its contribution to the underwater light climate of a shallow, microtidal estuary in south-western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **63** (2005) 469–477.
- Kowalchuk, P., J.C. William, R.F. Whitehead, M. J. Durako & W. Sheldon 2003. Characterization of CDOM in an organic rich river and surrounding coastal ocean in the South Atlantic Bight. *Aquatic Science* **65**: 381–398.
- Kutser, T., D.C. Pierson, K.Y. Kallios, A. Reinart, S. Sobek. 2005. Mapping lake CDOM by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. **94**: 535–540,
- Maul, G.A., 1985. *Introduction to Satellite Oceanography*. Martinus Nijhoff Publisher. 606 pp.
- Monahan, E.C. & M.J. PHYBUS. 1978. Colour, UV absorbance and salinity of the surface of the West Coast of Ireland. *Nature* **274**: 782-784.
- Nababan, B., 2005. *Bio-optical Variability of Surface Water in the Northeastern Gulf of Mexico*. Ph.D Dissertation. Department of Marine Science, College of Marine Science. University of Florida. 143 pp.
- Otis, D.B., K.L. Carder, D.C. English & J.E. Ivey. 2004. CDOM transport from the Bahamas Banks. *Coral Reefs* **23**: 152–160,
- Perez, O.M., L.G. Ross, T.C. Tefler & L.M. del C. Barquin 2003. Water quality requirements for marine fish cage site selection in Tenerife (Canary Island) : Predictive Modelling and analysis using GIS. *Aquaculture* **224**:51-68.
- Razak & Muhtar. 2003. The Environment of Jakarta Bay and surrounding waters. Final reports of Research Center for Oceanography, Jakarta (unpublish, in Indonesian).
- Richards, J.A. 1986. *Remote Sensing digital image analysis*. Spring-Verlags, Berlin: 281 pp.
- Ritchie, J.C. & C.M. Cooper. 1987. Comparison of Landsat MSS array size for estimating water quality. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **53**(11): 1549-1553.

- Sa, E.J.D, C. Hu, F.E.Muller-Karger & K.L. Carder. 2002. Estimation of colored dissolved organic matter and salinity fields in case 2 waters using SeaWiFS: Examles from Florida Bay and Florida Shelf. *Proceeding Indian Acaemic Science. (Earth Planet Science)*. **111** (3): 197-207.
- Sasaki, H., E. Siswanto, K. Nishiuchi, T. Hasegawa J. Ishizaka. 2008. Mapping the low salinity Changjiang diluted water using satellite-retrieved colored dissolved organic matter (CDOM) in the East China Sea during high river flow season. *Geophysical Research Letter* **35**: L04604, doi:10.1029/2007GL032637.
- Sasaki, H., E.Siswanto, K.Nishiuchi, T. Hasegawa & J.Ishizaka. 2008. Mapping the low salinity Changjiang diluted water using satellite-retrieved colored dissolved organic matter (CDOM) in the East China Sea during high river flow season. *Geophysical Research Letter* **35**: L04604.
- Sasmal, S.K., 2000, Estuarine and sedimentary environment studies using high resolution multi- spectral data. *PORSEC 2000 Pre-conference training*, Goa, India, Dec.1-4:127-133.
- Sathyendranath, S & Morel, A. 1983. *Light emerging from the sea: Interpretation and uses in remote sensing. In Marine Science Technology*. Edited by Cracknell, A.P., Reidel Publishing Company, pp. 323-357.
- Shank, G.C., N. Nelson & P.A. Montagna. 2009. Importance of CDOM distribution and photoreactivity in a shallow Texas Estuary. *Estuary and Coasts* **32**: 661-667.
- Thiemann, S.& H. Kaufmann. 2002. Lake water quality monitoring using hyperspectral airborne data: A semiempirical multisensor and multitemporal approach for the Mecklenburg Lake Distric, Gemany. *Remote sensing of environment* **8**: 228-237.
- UNESCO, 2000, Reducing megacity impacts on the coastal environment: Alternative livelihoods and waste management in Jakarta and Seribu Islands. *Coastal Region and Small Island Papers* 6, UNESCO, Paris: 59 pp.
- USGS (U.S. Geological Survey), 1984. *Landsa-4 data user's Hand Book*. USGS and NOAA.
- Wouthuyzen, S., C.K., Tan, J. Ishizaka, T.P.H., Son, V., Ramsi, S., Tarigan & A. Sediadi. 2007. Monitoring of Algal Blooms and Massive Fish Kill in the Jakarta Bay, Indonesia using Satellite Imageries. Proceedings of the first PI joint Symposium of ALOS data node for ALOS Science Program in Kyoto, Japan, Nov. 19-23, 2007.
- Wouthuyzen, S., A. Sediadi, S. Tarigan & H. Indarto. 2008. Pengukuran salinitas permukaan Teluk Jakarta melalui penginderaan warna laut menggunakan data multi-temporal Citra satelit Landsat-7 ETM+. *Proced. PIT MAPIN XVII*, Bandung 10-12-2008.





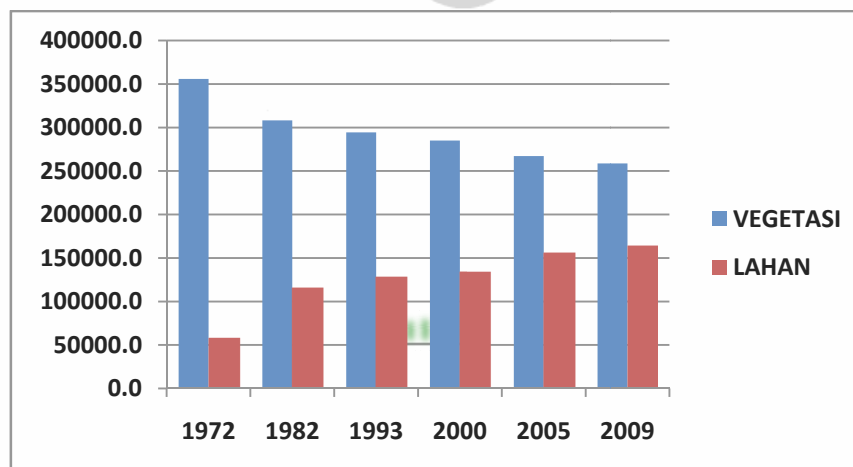
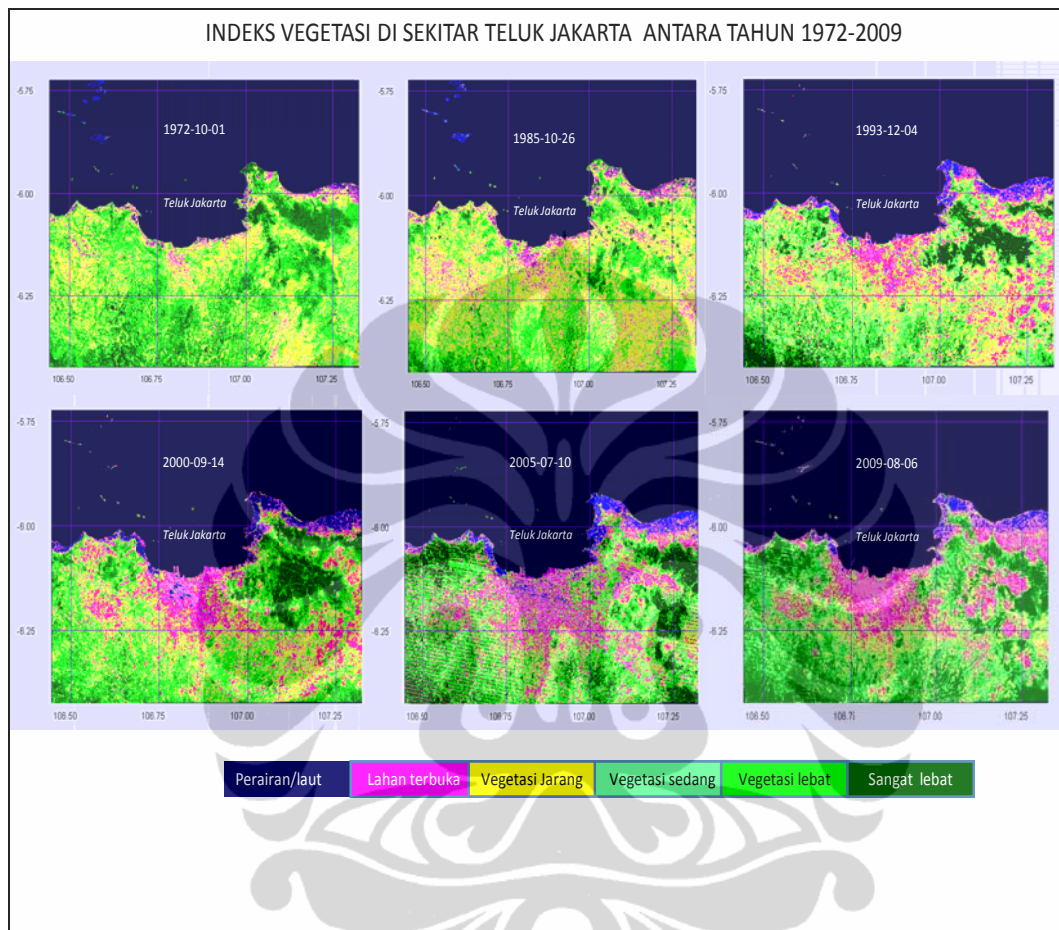
Lampiran 3.1. Konsentrasi klorofil-a dan CDOM.

Waktu		CDOM	Suhu	Salinitas	Chroma-Merah	Chroma-Hijau	Chroma-Biru	Keterangan
21/06/2004	Min	0,0020	29,07	31,40	0,07	0,15	0,28	TERRA
	Max	0,0690	30,19	32,25	0,56	0,36	0,65	
	Rerata	0,0173	29,51	31,84	0,27	0,30	0,43	
	STD	0,0248	0,32	0,24	0,11	0,05	0,09	
B	Min	0,0020	29,07	31,40	0,29	0,34	0,33	AQUA
	Max	0,0690	30,19	32,25	0,31	0,38	0,36	
	Rerata	0,0173	29,51	31,84	0,30	0,35	0,35	
	STD	0,0248	0,32	0,24	0,01	0,01	0,01	
24/08/2004	Min	0,0000	28,69	31,54	0,17	0,35	0,35	TERRA
	Max	0,0100	29,51	32,62	0,29	0,39	0,45	
	Rerata	0,0032	29,12	32,37	0,23	0,37	0,40	
	STD	0,0029	0,25	0,26	0,04	0,01	0,03	
B	Min	0,0000	-	0,26	0,04	0,01	0,03	TERRA
	Max	0,0080	29,12	32,89	0,29	0,37	0,42	
	Rerata	0,0028	14,68	31,21	0,26	0,33	0,37	
	STD	0,0020	20,41	6,32	0,05	0,06	0,07	
	Min	0,0000	28,69	31,54	0,23	0,33	0,38	AQUA
	Max	0,0100	29,51	32,62	0,28	0,35	0,41	
	Rerata	0,0032	29,12	32,37	0,26	0,34	0,40	
	STD	0,0029	0,25	0,26	0,01	0,00	0,01	
09/09/2004	Min	0,0000	29,19	31,96	0,13	0,27	0,36	TERRA
	Max	0,0050	31,00	32,74	0,27	0,37	0,60	
	Rerata	0,0027	29,81	32,50	0,18	0,32	0,50	
	STD	0,0014	0,48	0,21	0,04	0,03	0,06	
B	Min	0,0000	29,19	31,96	0,18	0,34	0,33	TERRA
	Max	0,0050	31,00	32,74	0,28	0,42	0,49	
	Rerata	0,0027	29,81	32,50	0,22	0,38	0,40	
	STD	0,0014	0,48	0,21	0,03	0,03	0,05	
01/10/2006	Min	0,0000	0,48	0,21	0,03	0,01	0,05	TERRA
	Max	1,9381	31,00	33,05	0,72	0,42	0,49	
	Rerata	0,1153	28,77	31,40	0,37	0,29	0,31	
	STD	0,3804	5,78	6,37	0,15	0,13	0,08	

Lampiran 3.2. Determinasi koefisien ( $R^2$ ) hubungan antara CDOM  $g_{440}$  dan konsentrasi Chl-a, dan antara CDOM  $g_{440}$  dan konsentrasi TSS.

Tanggal/Musim	Klorofil-a ( $\text{mg}/\text{m}^{-3}$ )	TSS ( $\text{mg}$ $\text{l}^{-1}$ )
Musim Peralihan (Hujan-Kemarau/awal musim kemarau)	- <0,001	-0,015
- 21 Juni 2004	0,281	-0,036
- 26 Mei 2006	0,001	0,019
- 11 Juni 2006	<0,001	-0,133
- Seluruh data		
Musim Kering dan Musim Peralihan (Kemarau- Hujan)	0,026	0,026
- 24 Agustus 2004	- < 0,001	-0,003
- 9 September 2004	- 0,242	0,003
- 29 July 2006	0,020	0,015
- September 2006	-0,021	-0,007
- October 1, 2006	-0,044	0,003
- Seluruh data		

Lampiran 3.3. Indeks vegetasi di sekitar Teluk Jakarta antara tahun 1972 sampai tahun 2009.



Lampiran 3.4. Variabilitas temporal dan spasial CDOM yang diamati di berbagai perairan.

Lokasi	Waktu	Nilai CDOM ( $m^{-1}$ )			Sumber & Pernyataan
		Min	Max	Rerata	
Muara dangkal Texas ( $G_{305}$ )	April Juli	8,0 15,0	50,0 77,0	- -	Shank <i>et al.</i> (2009). Max. DOM terjadi disebabkan oleh sistem muara sedang mengalami air tawar yang sangat tinggi.
Laut China Timur (pengaruh sungai Changian River) ( $G_{400}$ )	Juli	0,05	0,20	-	Sasaki <i>et al.</i> (2008). Muatan sungi Changiang Maksimum memasuki laut China Timur pada bulan Juli yang dianggap sebagai sumber utama CDOM,
Teluk Tampa, Florida ( $G_{400}$ )	Juni Okt.	0,60 3,39	1,53 16,81	1,11 7,76	Chen <i>et al.</i> (2007). Penyebaran Spasial dan temporal CDOM di Teluk Tampa menunjukkan bahwa dua sungai besar, yaitu sungai Alafia (AR) dan sungai Hillsborough (HR) sumber dominan CDOM.
Laut Baltik ( $G_{375}$ )	Feb.-Maret Apr - May	1,07 1,41	1,13 1,42	- -	Kowalczyk <i>et al.</i> (2006). CDOM maksimum terjadi pada bulan April hingga Mei yang bertepatan dengan muatan maksimum dari sungai.
Muara sungai Swan, Barat Laut Australia ( $G_{440}$ )	Agust.	0,09	10,87	-	Kostoglidis <i>et al.</i> (2005). Ketinggian (gradient) musiman CDOM yang terutama berkaitan dengan curah hujan.
Teluk Funka, Hokaido, Jepang ( $G_{440}$ )	Nov – Okt.	0,02	0,13	0,07	Sasaki <i>et al.</i> (2005). CDOM di teluk ini tidak dipengaruhi oleh material terrestrial (tidak ada korelasi sama sekali dengan salinitas), tetapi akhir musim semi meningkatkan penyerapan CDOM, yang menunjukkan bahwa produksi CDOM dapat dikaitkan dengan aktivitas mikroba.

Tepian Bahama (G <sub>440</sub> ) - Tepian - Lepas pantai	Mei-Juni	0,04 0,01	0,07 0,06	0,06 0,03	Ottis <i>et al.</i> (2004). Sumber-kaya CDOM ditemukan di daerah tepian dangkal yang berhubungan dengan rumput laut, terumbu karang dan organism benthic, tetapi renda di dasar lepas pantai yang dalam.
					0,33 2,67
Teluk Atlantik Selatan (G <sub>350</sub> )	Juni-Agust Jan, Okt-Nov	0,14 0,98	1,13 5,83	0,33 2,67	Kowalczuk <i>et al.</i> (2003). Konsentrasi CDOM yang tinggi pada bulan Januari dan Oktober-November, tetapi rendah pada bulan Juni-Agustus, disebabkan oleh muatan sungai Cape Fear.
					- -
Narragansett Bay, Rhode sland (G <sub>412</sub> )	Spring Summer - Winter	0,50 0,20	1,20 0,50	-	Keith <i>et al.</i> (2002). Konsentrasi CDOM tinggi pada musim semi berkaitan dengan masuknya muatan air tawar DAS di sekitar teluk dan muncul secara bersamaan dengan tingginya konsentrasi klorofil-a. Selama musim semi – awal musim semi, CDOM secara cepat menurun hingga nilai minimum seiring dengan respon teluk terhadap gangguan salinitas tinggi yang berasal dari sungai Rhode Island Sound.
					0,00 0,10
Jakarta Bay (G <sub>440</sub> )	Jun. Jul-Okt	0,00 0,10	16,80 1,20	3,70 0,70	Bulan Juni adalah awal musim panas, tetapi curah hujan masih terdeteksi, sementara bulan Juli hingga Oktober adalah musim pertengahan tanpa curah hujan sama sekali.

## DAFTAR ACUAN

- Adnan, Q. 2003. *Eutrofikasi dan akibatnya bagi kehidupan di Perairan Indonesia. Alternatif dampak berbagai kegiatan pembangunan kota metropolitan*. P2O-LIPI, Jakarta: 32 pp.
- Ærtebjerg, G., J. H. Andersen & Hansen, O.S. (eds.) 2003. Nutrient and Eutrophication in &is Marine Waters. A challenge for Science and Management. National Environment Research Institute: 126 pp.  
[Http://euro.dmu.dk](http://euro.dmu.dk).
- Afdal & S. H. Priyono. 2008. Sebaran Klorofil-a & Hubungannya Dengan Eutrofikasi Di Perairan Teluk Jakarta. *OLDI* **34**(3): 333-351.
- Ahn, Y., H. Shanmugam, P., J.E. Moon & J.H. Ryu. 2008. Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea. *Annales Geophysicae* **26**(7): 2019-2035.
- Alföldi, T.T. & Munday, J.C. 1978. Water quality analysis by digital chromaticity mapping of Landast data. *Canadian J. Of Remote Sensing* **4**(2): 108-126.
- Anastasiou, C. 2007. Physical properties of light in the waters Coolum. In Colored Dissolved Organic Matter (CDOM). Workshop Summary. Technical Document **07**(3): 5-7.
- Anderson, D.M, P.M. Gilbert & J.M. Burkholder. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition and consequences. *Estuaries* **25**: 704-726.
- Anderson, D.M. 2009. Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs). *Ocean and Coastal Management* **52**: 342-347.
- Andersen, J.H. , Schluter, L & Ærtebjerg, G. 2006. Coastal eutrophication: Recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal of Plankton Research* **28**(7): 621-628.
- Andersen, J.H., & Conley, D.J. 2009. Eutrophication in coastal marine ecosystems: towards better understanding and management strategies. *Hydrobiologia* **629**: 1-4.
- Anderson, D.M. 2008. The growing problem of Harmful Algae. *Oceanus*. WHOI. March 9th, 2008.
- Andersen, T.R. 2005. Plankton functional type modeling: running before we can walk? *Journal of Plankton Research* **27**(11): 1073-1081.
- Arheimer, B, Torstensen, G & Wittgren, H.B. 2004. Landscape planning to reduce coastal eutrophication: agricultural practices and constructed wet lands. *Landscape and Urban Planning* **67** (1-4): 205-215.
- Austin, R.W. & T.J. Petzold. 1981. "Water colour assessment," Oceanography from Spcae. J.F.R. Gover (ed.), New York: 239 – 256.

- Bagheri, S. & Dios, R.A. 1990. Chlorophyll-a estimation in New Jersey's coastal waters using Thematic Mapper Data. *International Journal Remote Sensing* **11** (2): 289-299.
- Bélanger, S., Babin, M & Larouche, P. 2008. An empirical ocean color algorithm for estimating the contribution of chromophoric dissolved organic matter to total light absorption in optically complex waters. *Journal of Geography Research* **113**: 1-14.
- Bierman, P, M. Lewis, B. Ostendorf & J. Tanner. A review of methods for analyzing spatial and temporal patterns in coastal water quality. *Ecological Indicators* **11**: 103-114.
- Boesch, D.F., E. Burreson, Dennison, E. Houde, M. Kemp, V. Kennedy, R. Newell, K. Paynter, R. Orth & W. Ulanowicz. 2001. Factors in the decline of coastal ecosystems. *Science* **293**: 629-638.
- Borja, A. S.B. Bricker, D.M. Dauer, N.T. Demetriades, J.G. Ferreira, A.T. Forbesh, P. Hutchings, X.Jia & R. Kenchington. 2008. Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal system worldwide. *Marine Pollution. Bulletin* **56**: 1519-1537.
- Bonsdorff, E., E.M. Blomqvist, J. Mattila & A. Norkko. 1997. Coastal eutrophication: causes, consequences and prespectives in the Archipelago areas of the northern Baltic Sea. *Estuar. Coast. Shelf. Sci* **44**: 63-72.
- Boynton, W.R., Kemp, W.M. & Keefe, C.W. 1982. A comparative analysis of nutrients and others factor influencing estuarine phytoplankton production. In: V.S. Kennedy (Ed.1982), *Estuarine Comparisons*, Academic Press, New York: 69-90.
- Braselton, J. & L. Braselton. 2004. A model of Harmful Algal Blooms. *Mathematical and Computer Modelling* **40**: 923-934.
- Bricker, S. B., C.G. Clement, D..E. Pirhalla, S.P. Orlando & D.R.G Farrow.1999. Effect of nutrient enrichment in the nation s estuaries. National Estuarine Eutrophication Assessment. U.S. Department of Commerce, NOAA: 84 pp.
- Burkholder, J.M. E.J. Noga, C.H. Hobbs & H.B. Glasgow Jr. 1992. New 'phantom' dinoflagellate is the causative agent of major estuarine fish kills. *Nature* **358**: 407-410.
- Carlson, R.E. and J. Simpson. 1996. *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*. North American Lake Management Society. 96 pp.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lake. *Limnol. Oceanogr* **22**: 361-369.
- Carvalho, G., P.J. Minnet, V.F. Banson, W. Baringer, C.A. Heil. 2011. Long term evaluation of three satellite ocean color algorithms for identifying harmful algal blooms (*Karenia brevis*) along the west coast of Florida: A Matchup assessment. *Remote Sensing of Environment* **115**: 1-18.



- Castillo C.E.D. 2008. On the use of ocean color remote sensing to measure the transport of dissolved organic carbon by the Mississippi River Plume. *Remote Sensing of Environment* **112**(3): 836-844.
- Chang, K.H, A. Amano, Todd W.M, T. Isobe, R. Maneja, F.P. Siringan, H.Imai & S. Nakano. 2009. Pollution study in Manila Bay: Eutrophication and its Impacts on Plankton Community. *Interdisciplinary studies on Environmental Chemistry-Environmental Research in Asia*, Eds., Y. Obayashi, T. Isobe, A. Subramanian, S. Suzuki & S. Tanabe, pp. 261-267.
- Chen, X., Li, Y.S., Liu Z., Yin, K., Li, Z. Wai, O.W. & King, B. 2004. Integration of multi-source data for water quality classification in the Peral River estuary and its adjacent coastal waters of Hongkong. *Continental Shelf Res.* **24**(16): 1827-1843.
- Chiaudani, G., R. Marchetti & M. Vighi. 1980. Eutropichation in Emilia-Romagna coastal waters (North Adriatic Sea, Italy): a case history. *Program Water Technology* **12**:185-192.
- Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Program Service* **210**: 223-253
- Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Program Service* **210**:223-253.
- Coble, P., C. Hu, R.W. Gould, G. Chang, & A.M. Wood. 2004. Colored dissolved organic in the coastal ocean: An optical tool for coastal environmental assessment and management. *Oceanography* **I**: 51-58.
- Committee on Environment and Natural Resources (CENR). 2000. Integrated assessment of hypoxia in the northern Gulf of Mexico. *National Science and Technology Council Committee on Environment and Natural Resources*, Washington DC: 58pp.
- Conley, D. J. 2000. Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management strategies. *Hydrobiologia* **419**:87-96.
- Corbett, C. A. 2007. Colored Dissolved Organic Matter (CDOM). *Charlotte Workshop Summary Isle Yacht Club Punta Gorda, Florida*: 78p.
- Cruzado, A. 1987. *Eutrophication in the Mediterranean Seas*. UNESCO Report&Proc. Scientific Workshop. Bologna, Italy 2-6 March: 57-66.
- Cruzado, A. 1988. *Eutrophication in the Mediterranean Seas*. UNESCO Report&Proc. Scientific Workshop. Italy 2-6 March, Bologna: 57-66.
- Dahuri, R. 1999. Coastal zone management in Indonesia: Issues and approaches. In: Rais, J., I.M. Dutton, L. Patntimena, J. Plouffe, & Dahuri (eds). *Integrated coastal marine resources management. Proceeding International Symposium, 25-27 Nov. 1997, Malang*: 60-72.

- Damar, A. 2003. Effect on enrichment on nutrient dynamics, phytoplankton dynamics and productivity in Indonesian tropical waters: a comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay. Dissertation. Kiel, Germany.
- Davidze, M. 2009. Observation of Eutrophication along the Black Sea coast of Georgia. *Second Open Science Meeting on HABs and Eutrophication*. Beijing, Oct 18-21, 2009: 16.
- Davis, C.C. 1955. *The marine freshwater plankton*. Michigan State University Press, Michigan: 562 pp.
- Departemen Kehutanan & Perkebunan. Direktorat Jendral Perlindungan & Konservasi Alam. *Kawasan Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu*. (1999). Balai Taman Nasional, Kepulauan Seribu.
- Dolmen, P.G.R., D.F.R. Cleary. 2007. Relating coral species traits to environmental conditions in the Jakarta Bay/Pulau Seribu reef system, Indonesia. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science* **73**: 816-826.
- Duarte, C.M, (2009). Coastal eutrophication research: a new awareness. *Hydrobiologia* **629**: 263-269.
- Dugdale, R.C., B.H. Jones Jr., J.J. M. Isaac & J.J. Goering,. 1981. Adaptation of nutrient assimilation. *Canadian Bulletin Fish Aquatic Science* **210**: 234-250.
- EEA. 2007. *Europe's environment-the fourth assessment*. State of The Environment Report.No.1/2007: 452p.
- Elemgren, R. 2001. Understanding human impact on the Baltic ecosystem: changing view in recent decades. *Ambio* **30**: 222-231.
- EUROHAB. 1999. European Initiative on Harmful Algal Blooms (EUROHAB): Harmful Algae Blooms In European Marine and Brackish Water. E, Graneli, G.A. Codd, B. Dale, E. Lipiataou, S.Y. Maestrini and H. Rosenthal, eds. European Commission, Directorate General Science Research and Delopment, Brussels, Belgium, 93pp.
- European Commission. 2003. The EU-US Scientific Initiative on Harmful Algae Blooms: A Report from a Workshop Jointly Funded by the European Commission -Environment and Sustainable Development Programme and The U.S National Science Foundation, 5-8 September 2003-Trieste, Italy. European Commission, Brussels: 57pp.
- Europe's environment-the fourth assessment. 2007. State of The Environment Report.No.1/2007: 452p.
- Ferrari, G.M. N. Hoepffner & M. Mingazzhini. 1996. "Optical properties of the water in deltaic environment: prospective tool to analyze satelite data in turbid waters". *Remote Sen. Environ.* **58**: 69-80.

- Ferreira, J.G., W.J. Wolf, T.C. Simas, & S.B. Bricker 2005. Does biodiversity of estuarine phytoplankton depend on hydrology?. *Ecological Modeling* **187**:513-523.
- Ferreira, J.G., Suzanne .B. Bricker & T. C. Simas. 2007. Application and sensitivity testing of eutrophication assessment method on coastal systems in the United States and European Union. *Jour. of Env. Manag.* **82**: 433-445.
- Frontier, S. 1985. Diversity and Structure In Aquatic Ecosystems. *Oceanography Marine Biology Annual Revision* **23**:253-312.
- Furuya, K. & Ryuzo Marumo. 1983. The Structure of Phytoplankton Community in The Subsurface Chlorophyll Maxima in The Western North Pacific *Ocean Journal Plankton Reseach* **5(3)**:
- Furuya, K. 1990. Subsurface chlorophyll maximum in the tropical and subtropical western Pacific Ocean : vertical profiles of phytoplankton biomass and its relationship with chlorophyll-a and particulate organic carbon. *Marine Biology* **107**:529-539.
- Gaedke, U. 1995. A comparison of whole community and ecosystem approaches (biomass size distributions, food web analysis, network analysis, simulation models) to study the structure, function and regulation of pelagic food webs. *Journal Plankton Research* **17(6)**:1273-1305.
- Gawen, R., P. Tett, E. Bresnan, K. Davidson, A. Gordon, A. McKinley, S. Milligan, D. Mills, J. Silke & A.M. Crooks. *Second Open Science Meeting on HABs and Eutrophication*. Beijing, Oct 18-21 2009: 20.
- GEOHAB. 2001. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, Science Plan. P. Gilbert & G. Pitcher, eds. SCOR and IOC, Baltimore and Paris: 86pp.
- GEOHAB. 2003. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algae Blooms, Implementation Plan. P.Gentien, G.Pitcher, A.Cembella and P.Glibert eds. SCOR and IOC, Baltimore and Paris:36pp.
- GEOHAB. 2005. Global Europe Research Project: HAB in Upwelling System.G. Pitcher, T. Moita, V. Trainer, R. Kundela, F. Figuierras & T. Probyn eds. *SCOR and IOC, Baltimore and Paris*.
- Gerlach, S.A. 1990. Nitrogen, phosphorus, plankton and oxygen deficiency in the German Bight and Kiel Bay. *Kieler Meeresforschungen, Sonderheft* **7**: 1-341.
- Gilbert, P. M ., C.S. Wazniak & B. Sturgis. 2009. Eutrophication and blooms in coastal embayments: Tasing a part climate variability from anthropogenic impacts. *Second Science Open Meeting on HABs and Eutrophication*. Beijing, Oct 18-21:18.

- Gilbert, P. M., J.M. Burkholder, E. Graneli, D.M. Andersen. 2008. Advances and insights in the complex relationships between eutrophication and HABs: Preface to special issue. *Harmful Algae* **8**: 1-2.
- Gillbricht, M. 1988. Phytoplankton and nutrients in the Helgoland region. *Helgolander Meeresuntersuchungen* **42**:435-467.
- Gordon, H.R. & A.Y. Morel. 1983. *Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Imagery-A Review*. Spring Verlag, New York.
- Gotoh, K., S. Wouthuyzen, S. Iizuka & S. Uno. 1991. Prediction of transparency for Omura Bay as one of eutrophication indicator using Landsat-5 MSS digital data. *Research Report on Computer Science* **8**: 53-61.
- Graneli, E. 2009. The role of eutrophication on blooms of allelopathic algae. *Second Open Science Meeting on HABs and Eutrophication*. Beijing, Oct 18-21 2009: 21.
- Green, E.P., Mumby, P.J., A.J. Edward & Clark, C.D. 1996. A review of remote sensing for tropical coastal resources assessment and management. *Coastal management* **24**: 1-40.
- Grobler, D.C., & M.J. Silberbauer. 1985. Eutrophication control: a look into the future. *Water SA* **11**(2): 69.
- Hallegraeff, G.M. 2009. Ocean climate change, phytoplankton community responses and harmful algal blooms: a formidable predictive challenge. *Second Open Science Meeting on HABs and Eutrophication*. Beijing, Oct 18-21 2009: 23.
- Hallegraeff, G.M. 1992. Harmful algae bloom in the Australian Region. *Marine Pollution Bulletin* **25**: 186-190.
- Heisler, J., P.M. Gilbert, J.M. Burkholder, D.M. Andersen, W. Coeclan, W.C. Dennison, Q. Dortch, C.J. Gobler, C.A. Heil, E. Humphries, A. Lewitus, R. Magnien, H.G. Marshall, K. Selner, D.A. Stockwell, D.K. Stoecker & M. Suddleson. 2008. Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae* **8**(1): 3-13.
- Heil, C. 2007. *Indirect biotic links with CDOM*. Workshop Summary. Technical Document 07-3: 5-7.
- Hodgkin, E.P. & Birch, E.P. 1982. Eutrophication of a Western Australia estuary. *Oceanol. Acta. SP*: 313-318.
- Hodgkin, E.P. & B.H. Hamilton. 1993. Fertilizers and eutrophication in southwestern Australia: setting the scene. *Fertilizer Research* **35**:95-103.
- Howarth, R.W. 2008. Coastal Nitrogen Pollution. A review of sources and trends globally and regionally. *Harmful Algae* **8**: 14-20.
- Hu, C., F.E. Muller-Karger, C. Taylor, K.L. Carder, C. Kelble, E. Johns & C.A. Heil. 2005. Red tide detection and tracing using MODIS fluorescence data: A

- regional example in SW Florida coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 97: 311-321.
- Hu, C.C., D.T. Clayton, P. Swarzenki, J.C. Brock & F.E. Muller-Karger. 2004. Assessment of estuarine water-quality indicators using MODIS medium-resolution bands. Initial results from Tampa Bay, FL. *Rem. Sensing of Environ.* 93: 423-441.
- Iwashita, K., K. Kudoh, H. Fujii & H. Nishikawa. 2004. Satellite analysis for water flow of Lake Inbanuma. *Advance in Space Research* 33(204): 284-289.
- Jackson, J.B.C., M.X. Kelly & W.H. Berger. 2001. Historical overfishing and recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293:629-636.
- Jenkinson, I.R. 2009. The role of eutrophication in modulating breakup and sinking of phytoplankton aggregates. *Second Open Science Meeting on HABs and Eutrophication*. Beijing, Oct 18-21 2009: 28.
- Jinhui, Wang. 2005. The ecological engineering of HAB: Prevention, control, and mitigation of harmful algal blooms. *Elect. Jour. of Bio.* 1(2): 27-30
- Joint, I., J. Lewis, J. Aiken, R. Proctor, G. Moore, W. Higman & Donald, M. 1997. Interannual variability of PSP (paralytic shellfish poisoning) outbreak on the northeast UK coast. *Journal Plankton Research* 19:937-956.
- Jørgensen, B.B & K. Richardson (eds). 1996. Eutrophication in coastal marine ecosystems. *Coastal and Estuarine Studies* 52. American Geophysical Union, Washington, DC: 115-135.
- Kabhara, N., J. Benkhelil, M. Awad & V. Barale. 2008. Monitoring water quality in the coastal area of Tripoli (Lebanon) using high-resolution satellite data. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 63(5): 488-495.
- Kaswadji, R.F., F. Widjaya & Y. Wardiatno 1993. Produktifitas primer dan laju pertumbuhan fitoplankton di perairan pantai Bekasi. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia* 1(2):1-15.
- Kelly, M. & M. Naguib. 1984. Eutrophication in the coastal marine areas and lagoons: A case study of "Lac of Tunis". *UNESCO Reports in Marine Science* 29: 55pp.
- Kirkpartrick, B. L.E, Flemming, D. Squicciarini, L.C. Baker, R. Clark, W. Abraham, J. Benson, Y.S. Cheng, D. Johnson, R. Pierce, J. Zaias, G.D. Bossart & D.G. Baden. 2004. Literature review of Florida red tide: Implication for human healths effects, *Harmful Algae* 3: 90-115.
- Koropitan, A.F., M. Ikeda, A. Damar, & Y. Yamanaka. 2009. Influences n physical processes on the ecosystem of Jaarta Bay: a coupled physical-ecosystem model experient. *ICES Journal of Marine System* 66: 336-348.

- Kowalczyk, P., W.J. Cooper, R.F. Whithead, M.J. Durako & W. Sheldon. 2003. Characterization of CDOM in an organic rich river and surrounding coastal ocean in the South Atlantic Bight. *Aquatic Science* **65**: 381-398.
- Laporan Kegiatan Workshop: Citarum River Restoration Using Alternative Technology. Bandung, 24 Mei 2010. (<http://www.citarum.org>).
- Lathrop, R.G., T.M. Lillesand & B.S. Yandell. 1991. Testing the utility of simple multi-date Thematic Mapper calibration algorithm for monitoring turbid inland waters. *International Journal Remote Sensing* **12**(10): 2045-2063.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W. 2002. *Remote sensing and image interpretation*. John Willy & Sons. Inc. New York.: 318, 396, 415.
- Lundberg, C., M. Lönnroth, M. Von Numers & E. Bonsdorff . 2005. A multivariate assessment of coastal eutrophication. Examples fro the Gulf of Finland, Northern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* **50**(11): 1185-1196.
- Maie, N., J.N. Boyer, C. Yang & R. Jaffe. 2006. Spatila, geomorphological, and seasonal variability of CDOM in estuaries of the Florida coastal Everglades. *Hydrobiologia* **569**: 135-150.
- Mao, Q., P. Shi, K. Yin, J.Gan & Y. Qi. 2004. Tides and tidal currents in the Pearls River estuary. *Continental Shelf Research* **24**(16): 1797-1808.
- Martin, J.I., A.R. Hanke & M.M. LeGresley. 2009. Long term phytoplankton monitoring, including harmful algal blooms, in the Bay of Fundy, Eastern Canada. *Journal of Sea Research* **61**: 76-83.
- Moore, G.K. 1980. Satellite remote sensing of water quality. *Hydrol. Sci.* **25**: 407-421.
- National Research Council. 2000. *Clean coastal waters: under standing and reducing the effect off nutrient pollution*. National Academic Press, Washington, DC.
- Nixon, S.W. & Pilson, M.E.Q. 1983. Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystem. In: Carpenter, E.J., Capone, D.G. (eds.). Nitrogen in the Marine Environment. Academic Press, New York: 565-648.
- Nixon, S.W. 1995. Coastal Marine eutrophication: A definition, social causes, and the future concern. *Ophelia* **41**:199-219.
- Nixon, S.W. 2009. Eutrophication and macroscope. *Hydrobiologia* **629**: 5-19.
- Nobre, A.M. & J.G.Ferreira. 2009. Integration of ecosystem-based tools to support coastal zone management. *Journal of Coastal. Research*. Proceeding of the 100<sup>th</sup> International Coastal Symposium: 1676-1680, Lisbon, Portugal, ISBN.
- Onodera, S, M. Saito, M. Sawano, T. Hosano, M. Taniguchi, J. Shimada, Y. Umezawa, R.F. Lubis, S. Buapeng & R. Delinom. 2008. Effects on intensive urbanization on the intrusion of shallow groundwater into deep groundwater: examples from Bangkok and Jakarta. *Science of The Total Environment* **404**: 401-410.

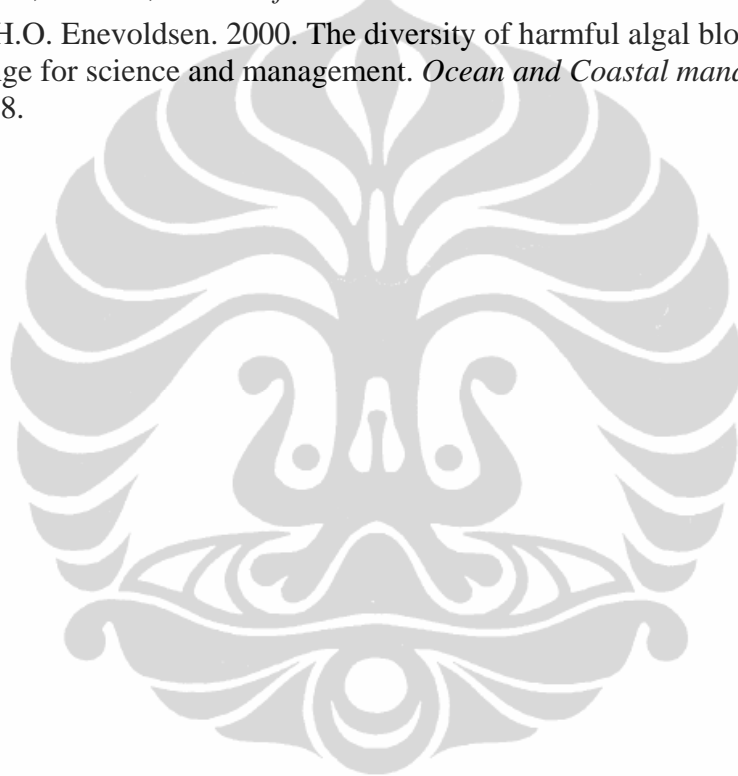
- Okaichi, J.M. 1997. *Red tide in the Seto Island Sea* In: Okaichi, T., Tanagi, T. (Eds.) Sustainable Development in the Seto Sea Inland Japan: from the viewpoint of fisheries. Terra, Tokyo.
- Olli, K. & A.S. Heiskanen. 1996. Seasonal stages of phytoplankton community structure and sinking loss in the Gulf of Riga. *Journal of Marine System*:165-184
- OSPAR. 2001. *Draft common assessment criteria and their application within the comparative procedure of the common procedure. Meeting of the Eutrophication Task Group (ETG), London 9-11 October 2001* ed. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. OSPAR Commission, London.
- OSPAR. 2003. Integrated report 2003 on eutrophication status of the OSPAR maritime areas based upon the first application of the comprehensive procedure OSPAR Commission. London, <http://www.ospar.org>
- Paerl, H.W., M.L.M. Valdes, J. L. Pinckney, M.F. Piehler, Julianne Dyble & P.H. Moisaner. 2003. Phytoplankton photopigments as indicator of estuarine and coastal eutrophication. *Bioscience* **53**(10): 953-964.
- Pandey, V.K., Sudhindra, N. Panda & S. Sudhakar. 2005. Modelling of an agricultural watershed using remote sensing and geographic information system. *Biosystem Engeneering* **90** (93): 331-347.
- Parsons, R.T., M. Takahashi, B. Hargrave.1984. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press, Oxford :xi+330pp.
- Pawitan, H. 2009. Perubahan penggunaan lahan & pengaruhnya terhadap hidrologi Daerah Aliran Sungai. <http://bebasbanjir2025.wordpress.com/10-makalah-tentang-banjir-2/hidayat-pawitan/>.
- Perez, O.M., L.G Ross, T.C. Telfer, L.M. del Campo Barquin. 2003. Water quality requirements for marine fish cage site selection in Tenerife (Canary Island) : Predictive Modeling and analysis using GIS. *Aquaculture* **224**: 51-68.
- Prabowo, H., Suprpto, H. & Oswari, T. 2008. Environmental degradation and fisherman livelihoods in Jakarta Coastal Area. [Http://iasc2008.glos.ac.uk/conference%20papers/.../P/Prabowo\\_210302.pdf](Http://iasc2008.glos.ac.uk/conference%20papers/.../P/Prabowo_210302.pdf).
- Praeno, D.P., Y.Fukuyo, R.Widiarti & Sugestiningsih. 2002. *Red tide occurences in Indonesian Waters and the need to establish a monitoring system*.
- Rabalais, N.N., R.E. Turner, D. Justic, Q. Dortch, Wiseman Jr., W.J. Sen & B.K. Gupta. 1996. Nutrient changes in the Mississippi Rover and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries* **189**(2B): 386-407.
- Rabalais, N.N., & E. Harper. 1992. Studies of benthic biota in area affected by moderate and severe hypoxia. In: National Oceanic and Atmospheric Administration, Coastal Ocean Program Office, Nutrient Enhanced Coastal

- Ocean Productivity. *Proc. of Workshop. Louisiana University Marine Consortium. October 1991. Sea Grant Program, Texas A&M University, 150-153.*
- Rosenberg, R. 1985. Eutrophication-the Future Marine Coastal Nuisance. *Marine Pollution Bulletin*, **16**(6): 227-231.
- Schwarz, J.N., A. Cunningham, P. Kowalszuk, G.F. Cota, B.G. Mitchel, F.P. Chavez, P. Gege, M. Kishino, D.A. Phinney & R. Raine. 2002. Two models for absorption by coloured dissolved organic matter (CDOM). *Oceanologia* **44**(2): 209-241. T
- SEAFDC & IDRC. 1984. Toxic red tides and shellfish toxicity in Southeast Asia. Proc. Of Consultative Meeting Held in Singapore, 11-14 September 1984. (Alan W. , Matsateru Anraku, Kok-Kuang Hooi eds):133pp.
- Smith, V.H. 1990. Nitrogen, Phosphorus, and nitrogen fixation in lacustrine and estuarine ecosystem. *Limnology And Oceanography*, **35**, 1852-1859.
- Sommer, U. 1994. The impact of light intensity and day length on silicate and nitrate competition among marine phytoplankton. *Limnology Oceanography* **39**(7): 1680-1688.
- Spatharis, S., D.L. Roelke, P.G. Dimitrakopoulos & G.D. Kokkoris. 2011. Analyzing the (mis) behavior of Shannon index in eutrophication studies using field and stimulated phytoplankton assemblages. *Ecological Indicators* **11**: 697-703.
- Steinberg, F. 2007. Jakarta: Environmental problems and sustainability. *Habitat International* **31**: 354-365.
- Stirn, J. 1988. Eutrophication in the Mediterranean Seas. UNESCO Reports on *Marine Science* **49**:161-187.
- Stumpf, R.P., M.C. Tomlinson, J.A. Calkins, B. Kirkpatrick, K. Fisher, K. Nierenberg, R. Currier & T.T. Wynne. 2009. Skill assessment for an operational algal bloom forecast system. *Journal of Marine Systems* **76**: 151-161.
- Sumadhiharga, O. K. 1977. Bencana air merah yang mematikan banyak ikan di Teluk Kao, Halmahera. *Lonawarta* **2**:10-17.
- Suryadewi, I.M., Edward & A. Sediadi. 1998. Masalah Reklamasi Teluk Jakarta Ditinjau Dari Aspek Psikologi Lingkungan. *Artikel Lingkungan & Pembangunan* **18**(2): 145-163.
- Suryandari, S. "Teluk Jakarta Supermarket Sampah." *Media Indonesia* 18 Juni 2010.
- Syahril, M.B. K. 2008. Isu lingkungan Dalam Pengembangan Infrastruktur : Pengembangan Sistem Pengendalian Banjir di Jakarta. *International Symposium on Management System for Disaster Prevention, Management System for Disaster Prevention system Technology, Kochi, Japan, march 6th -9th ,2008.*



- Tambunan, R. P. 2005. Dampak Perkembangan Fisik Kota Terhadap Pola Tata Air Ekosistem Dataran Rendah Jakarta. *Disertasi Program Studi Ilmu Lingkungan.FMIPA-UI*. 84p.
- Tang, D.L., D.R. Kester, I.H.Ni, Y.Z. Qi & H. Kawamura. 2003. In situ and satellite observations of harmful algal bloom and wate condition at Pearl River estuary in late autumn 1998. *Harmful Algae* **2**: 89-99.
- Tassan, S. 1987. Evaluation of the potential of the Thematic Mapper for marine application. *International Journal Remote Sensing* **8**(10):1455-1478.
- Twilley, R.R. 1985. Nutrient enrichment of estuarine submersed vascular plant communities. I. Algal growth and effects on production of plants and associated communities. *Marine Ecoloy Program Service* **30**: 179-191.
- Waryono, T. 2005. Pendekatan Pemulihan Bio-Fisik Bantaran Sungai Di Jakarta. *Disertasi Progam Studi Biologi FMIPA-UI*. 368p.
- Webber, M., D.F. Webber, E.R. Ranston, F.N. Dunbar & R.M.A. Simmonds. 2003. Changes in water quality and plankton of Kingston Harbour, Jamaica, after 20 years continued eutrophication. *Bulletine of Marine Science* **73**(2): 361-378.
- Whitledge, T.E. & Pulich, W.M. 1991. Report of The Brown Tide Symposium and Workshop, 15-16 July 1991. *Marine Science Institute. The University of Texas. Port Arkansas*:44 pp.
- Whitledge, T.E. 1985. Nationwide review of oxygen depletion and eutrophication in the esturaine and coastal waters: *Executive Summary, Completion Report submitted to US Department of Commerce. NOAA, NOS. Rockville MD*: 28 pp.
- Widiarti, R. 2002. Coutry report on HAB research in Indonesia. Paper presented at ORI HAB Meeting The Univeristy of Tokyo, Tokyo: 14pp.
- Wong, K.T.M., J.H.W. Lee & I.J. Hodgkiss. 2007. A simple modle for freecast of coastal algal blooms. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science* **74**: 175-196.
- Wouthuyzen, S. 1991. Analysis of the potential utility of remote sensing data aquaired from earth observations satellites for monitoring the coastal zone environment. Doctoral dissertation graduate school of marine science and engineering, Nagasaki University: 158p,
- Wouthuyzen, S., Tarigan, Sugarin, R. Suryani, I. Raharusun, & J. Lakalete. 2007. Pendeteksian dini kejadian marak alga (*Harmful Algal Blooms/HAB*) Perairan Teluk Jakarta & Sekitarnya. *Proyek Kompetitif-LIPI*: 85 pp.
- Xing, Q., Y. Hao, P. Shi, H. Losel & F. Schimtt. 2009. Monitoring eutrophication in China coastal waters from satellite-derived chlorophyll: a cas study at Southern Yellow Sea. *Second Open Science Meeting on HABs and Eutrophication*. Beijing, Oct 18-21 2009: 55.

- Yin, K., J. Zhang, P.Y. Qian, W.Jian, L.Huang, J. Chen & M.C.S. Wu. 2004. Effects of wind events on phytoplankton blooms in the Pearl River estuary during summer. *Continental Shelf Research* **24**: 1909-1923.
- Zang, Y., J. Pullainen, S. Koponen, M. Hallikainen. 2002. A semi-empirical algorithm of water transparency at the green wavelength band of optical remote sensing. *Progress in Electromagnetics Research* **37**: 193-203.
- Zhao, J, W. Cao, G. Wang, D. Yang, Y. Yang, Z. Sun, W. Zhou & S.Liang. 2009. The variations in optical properties of CDOM throughout an algal bloom event. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science* **82**: 225-232.
- Zingone, A. & H.O. Enevoldsen. 2000. The diversity of harmful algal blooms: A challenge for science and management. *Ocean and Coastal management* **43**: 725-748.



## DISKUSI PARIPURNA

Pencemaran yang terjadi di suatu perairan akan mempengaruhi tingkat kualitas perairan tersebut, di mana salah satu bentuknya adalah terjadinya proses eutrofikasi (Tassan, 1987; Bagheri & Dios, 1990; Gotoh *et al.*, 1991; Lathrop *et al.*, 1991; Ærtebjerg *et al.*, 2003; Iwashita *et al.*, 2004) yang telah melanda di banyak wilayah pesisir dunia termasuk perairan Teluk Jakarta (Damar, 2003; Afdal & Priyono, 2008). Proses eutrofikasi telah menjadi salah satu ancaman utama bagi kesehatan ekosistem pesisir dan sumber daya hayati (Kelly & Naguib, 1984; Cruzado, 1987; Stirn, 1988; Nixon, 1995; Elmgren, 2001). Hal ini disebabkan adanya peningkatan masuknya zat hara (zat hara) yang sangat berlebih/tinggi ke perairan pantai (Chiaudani *et al.*, 1980; Hodgkin & Hamilton, 1993; Joint *et al.*, 1997; Okaichi, 1997; Bricker *et al.*, 1999; OSPAR, 2001), seperti yang terjadi di perairan Teluk Jakarta, di mana penyebab utamanya adalah pasokan sampah yang tinggi melalui sungai-sungai yang bermuara di teluk tersebut (Suryandari, 2010), yang disebabkan oleh meningkatnya aktivitas dan jumlah penduduk di sekitar daerah Jakarta dan kota-kota penyangganya, seperti Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi (Wilayah JADOBETABEK) dan adanya penggunaan tata guna lahan yang tidak sesuai dengan rencana tata ruang kota. Gejala ini disebut sebagai eutrofikasi antropogenik (Cruzado, 1988; Perez *et al.*, 2003).

Teluk Jakarta merupakan perairan penting karena memiliki nilai ekonomis yang dimanfaatkan oleh berbagai pemangku kepentingan (*stake holder*) dari berbagai sektor. Mengingat pentingnya perairan ini, maka mutlak perlu komitmen yang sangat kuat dari pemerintah dan seluruh lapisan masyarakat untuk memantau serta mengevaluasi kualitas dan kondisi perairan Teluk Jakarta, sehingga pengelolaan yang baik terhadap perairan ini dapat dilakukan. Salah satu bentuk komitmen tersebut dituangkan dalam penelitian ini, di mana untuk dapat memantau dan mengevaluasi perairan Teluk Jakarta secara efektif dan efisien dibutuhkan alat yang dapat mengamati secara berulang (*frequent*), mencakup areal yang luas (*widespread*) dan tidak berubah-ubah (*consistent*) dari parameter lingkungan yang dapat dikoleksi dengan alat dan cara sederhana, namun

parameter tersebut (kecerahan perairan, konsentrasi klorofil-a dan CDOM) dapat menjadi indikator penting yang menunjukkan tingkat tekanan (*stress*) terhadap suatu perairan (Hu *et al.*, 2004; Hu *et al.*, 2005).

Dari hasil penelitian ini, baik dari data pengukuran lapangan (*in-situ*), maupun data multi-temporal citra satelit dengan menggunakan indikator sederhana, yakni transparansi perairan yang diukur menggunakan cakram Secchi dan pengukuran konsentrasi klorofil-a telah menunjukkan bahwa eutrofikasi perairan Teluk Jakarta telah berlangsung sejak lama, di mana gejalanya telah terlihat pada tahun 1970an hingga kini di tahun 2000an dengan tingkatan yang drastis dimulai pada tahun 1980an (**lihat Gambar 1.7**).

Hasil analisis menggunakan model ASSETSS menunjukkan bahwa pada tahun-tahun mendatang, eutrofikasi akan semakin menguat, sehingga berdampak terhadap kualitas perairan Teluk Jakarta yang akan semakin memburuk. Hal ini dapat dipastikan karena seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang cenderung terus meningkat dari tahun ke tahun yang diikuti pula dengan aktifitas pembangunan berupa pembukaan lahan yang cepat dan tidak terencana dan tertata dengan baik di Jakarta dan di sekitar di kota-kota penyangganya (*hinterland*), di wilayah Bogor, Tangerang dan Bekasi yang dipantau pula menggunakan indeks vegetasi dari hasil analisis citra satelit (**lihat Lampiran 3.4**), memperlihatkan bahwa vegetasi hijau semakin menurun luasannya (dari 400.000 ha menjadi lebih kurang 250.000 ha) sedangkan lahan terbuka semakin meningkat, baik di sekitar garis pantai yang berubah menjadi tambak, maupun lebih perluasan pada wilayah kota untuk pembangunan dan pemukiman (dari 500.000 ha menjadi lebih kurang 1.500.000 ha) yang pada akhirnya akan meningkatkan kekuatan eutrofikasi perairan Teluk Jakarta. Proses eutrofikasi dari hasil kajian ini menguatkan hipotesa pertama, yaitu proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta semakin meningkat dari tahun ke tahun.

Pada tingkatan eutrofikasi sedang (TSI pada level mesotrofik), fenomena eutrofikasi akan menunjang sektor perikanan karena eutrofikasi membuat perairan menjadi subur (fitoplankton berlimpah), sehingga pada mata rantai makanan selanjutnya, kelimpahan zooplankton akan meningkat dan disusul dengan kelimpahan ikan-ikan kecil dan kemudian ikan besar, yang pada akhirnya

membentuk suatu daerah penangkapan ikan, seperti Teluk Jakarta yang merupakan produsen perikanan yang cukup baik, tetapi saat ini mengalami penurunan produksi (Prabowo *et al.*, 2008).

Pada tingkatan yang tinggi dan sangat tinggi (TSI pada level eutrofik dan hypertrofik), maka kejadian eutrofikasi yang bersifat positif di atas sebaliknya akan berubah menjadi negatif (Carlson, 1977; Carlson & Simpson, 1996).

Arifin (2003) dan Damar (2003) telah memperlihatkan proses eutrofikasi di Teluk Jakarta antara tahun 1970an hingga 2000an yang ditandai dengan meningkatnya konsentrasi nutrisi menjadi 2-3 kali lipat. Konsentrasi Nitrat dan Fosfat masing-masing meningkat antara 1.1-2.2  $\mu\text{g.at./L}$ , dan 2.2-3.3  $\mu\text{g.at./L}$ , yang disusul dengan meningkatnya konsentrasi klorofil-a pada musim barat (Desember-Februari), peralihan-1 (Maret-Mei), Musim Timur (Juni-Agustus) dan musim Peralihan-2 (September-November). Selanjutnya proses eutrofikasi tersebut telah menyebabkan menurun drastisnya tutupan karang hidup di Teluk Jakarta dari 35% pada tahun 1980 an, menjadi 15 % di tahun 1990 an dan 5 % di tahun 2000 an. Keaneka ragaman jenis ikan juga menurun dari sekitar 200 spesies ikan yang tertangkap dengan trawl menjadi 98 spesies, sedangkan ikan yang tertangkap dengan jaring insang (*gill net*) menurun dari 44 spesies, menjadi 21 spesies.

Proses eutrofikasi dari hasil kajian ini menguatkan hipotesa pertama, yaitu proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta semakin meningkat dari tahun ke tahun.

Dampak eutrofikasi yang berkaitan erat dalam penelitian ini adalah kejadian marak alga, dari hasil kajian Arifin (2003) terjadi adanya peningkatan frekuensi kejadian marak alga di Teluk Jakarta dan luasan areanya pun semakin melebar. Kenyataan inipun turut pula memperkuat hipotesa 1 dalam penelitian ini.

Terjadinya marak alga pada dasarnya merupakan fenomena alami terjadi di suatu perairan, seperti halnya di pantai Barat Florida, di mana sejak tahun 1844 hingga tahun 1971 tercatat 24 kali kejadian marak alga sebelum adanya pengembangan pertanian dan industri di wilayah tersebut (Boesch *et al.*, 2001; Jackson *et al.*, 2000; Kirkpatrick, 2004).

Dalam beberapa dekade belakangan ini, kejadian marak alga lebih meluas serta jenis yang terlibat juga meningkat, di mana jenis yang beracun lebih banyak mendominasi, sehingga dampaknya terhadap sumberdaya perikanan dan ekonomi juga sangat merugikan dibandingkan sebelumnya (Anderson, 2008; Landsberg, 2002). Marak alga jenis beracun (*Harmful Algal Blooms*) pada masa lalu dikenal dengan sebutan pasang merah (*Red Tide*) tetapi tidak cukup menjelaskan secara baik akan jenis alga tersebut mengingat banyaknya tipe mikro alga yang berbeda saat terjadi marak alga (Frontier, 1985; Smith, 1990; Anderson *et al.*, 2002; Paerl *et al.*, 2003; Ferreira *et al.*, 2005).

Dengan tersedianya data multi-temporal citra satelit Terra- MODIS dan Aqua-MODIS yang memiliki frekuensi pemantauan yang sangat tinggi dalam basis harian, memungkinkan pemantauan terhadap kejadian marak alga menjadi lebih efektif. Hasil kajian terhadap marak alga antara tahun 2004 hingga 2008 menunjukkan ada 2 musim kejadian marak alga dengan frekuensi tertinggi, yaitu dimusim peralihan-1 dengan puncaknya pada bulan Mei (100 %), dan pada musim Peralihan 2 pada bulan Oktober (80%).

Frekuensi kejadian marak alga pada musim Peralihan 1 disebabkan oleh tingginya curah hujan di musim barat di mana curah hujan tersebut akan membawa zat hara tinggi dari darat dan memasok perairan Teluk Jakarta (Wouthuyzen, 2006). Pasokan zat hara tidak langsung dimanfaatkan oleh fitoplankton untuk mengembangkan populasinya, namun ada tenggang waktu (*time-leg*) 1-2 bulan baru benar-benar zat hara tersebut digunakan oleh fitoplankton, sehingga kejadian marak alga terjadi pada musim peralihan-1 (bulan April-Mei). Kejadian ini dipacu pula dengan kondisi meteorologi yang cocok, seperti intensitas cahaya matahari yang optimal bagi proses fotosintesa (SEAFDC & IDRC, 1984; Hallegraeff 1992; EUROHAB, 1999; EC, 2003; GEOHAB 2005; 2003, 2001; Tan, 2007; Wouthuyzen, 2007).

Pada musim peralihan-2, pasokan zat hara yang berasal dari daratan sangat berkurang karena curah hujan sangat rendah dan bahkan tidak ada sama sekali, namun frekuensi kejadian marak alga terjadi kuat, khususnya di bulan Oktober (**lihat Gambar 2.9**). Kejadian marak alga, walaupun kurangnya pasokan zat hara berasal dari darat disebabkan fenomena lain, yaitu bahwa pada musim timur,

angin timur yang cukup kencang berhembus dari arah timur ke barat (Baganti, 1997), secara konstan selama 1-2 bulan. Angin dan arahnya tersebut mendorong massa air dipermukaan, di mana air yang terdorong digantikan oleh massa air dari bagian bawah yang mengandung zat hara relatif tinggi naik kepermukaan (fenomena *upwelling/turbulensi*). Fenomena tersebut menyebabkan perairan menjadi subur, dan menyebabkan terjadinya marak alga yang kuat di bulan September-Oktober (Wouthuyzen, 2007). Pola marak alga yang tinggi pada musim peralihan-1 dan -2 yang disebabkan dua penyebab yang berbeda tersebut (curah dan jumlah hari hujan serta angin dan kecepatannya) perlu diteliti lebih dalam.

Kejadian marak alga akan menyebabkan kadar oksigen menurun ke level yang sangat rendah (anoxid; 2ml/l) dan bahkan ke kondisi di mana kadar oksigen tidak ada (*hypoxid*; 0 ml/l) akan menyebabkan kematian masal biota yang hidup di dasar perairan (Borja *et al.*, 2008). Selama penelitian ini tercatat 7 kali kejadian marak alga (2 kali di tahun 2004, 3 kali di tahun 2005, dan 2 kali di tahun 2007), sedangkan kejadian marak alga telah tercatat sejak tahun 1991 (Adnan, 2003).

Komponen utama marak alga adalah dari kelompok diatom, dengan jenis *Chaetoceros*, *Bacteriastrum*, *Thalassiothrix*, *Thalassionema*, *Rhizosolenia*, dan *Pseudo-nitzschia*. Kelompok dinoflagelata yang pada umumnya merupakan jenis mikro alga berbahaya (*harmful algae*) merupakan kelompok yang minor. Menurut (Praseno, 2002) kematian masal ikan bisa disebabkan sangat padatnya diatom, sehingga menyangkut di insang ikan dan menyebabkan kematian masal ikan. Jika hal ini terjadi, maka kematian ikan lebih berdampak terhadap jenis ikan-ikan pelagis (hidup di kolom air) karena berada secara bersama pada kolom air dengan jenis fitoplankton yang sedang marak. Dalam kasus kematian masal ikan di Teluk Jakarta, jenis ikan yang mati hampir seluruhnya merupakan jenis ikan demersal (ikan hidup di dasar perairan), sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan kadar oksigen ketinggian yang sangat rendah (2ml/l) setelah kejadian marak alga adalah parameter utama penyebab kematian masal ikan di Teluk ini.

Kejadian marak alga tidak selamanya akan memicu kematian masal ikan. Ada banyak kematian alga yang sangat kuat dan berlangsung lama, khususnya pada bulan oktober 2006 tidak menyebabkan kematian masal ikan, baik pada

bulan tersebut, maupun pada bulan-bulan lainnya di tahun 2006 (nol kasus kematian masal ikan). Dari banyak kasus yang diamati dalam periode penelitian ini menunjukkan bahwa kejadian marak alga yang diikuti dengan lemahnya arus di Teluk Jakarta memicu kematian masal ikan. Lemahnya arus dapat ditandai dengan perbedaan pasang tertinggi dan terendah yang lebih kecil dari 0,5 dm (Wouthuyzen, 2007). Kejadian marak alga yang diikuti kematian masal ikan menyebabkan kerugian besar di sektor perikanan dan pariwisata.

Kejadian marak alga, seperti di Amerika Serikat menyebabkan kerugian sebesar 50 juta US\$, untuk sektor kesehatan masyarakat mencapai 20 juta US\$, sektor perikanan 18 juta US\$, sektor pariwisata 7 juta US\$, monitoring dan manajemen sebesar 7 juta US\$ (Economic Impact: Red tide 2007). Di Hongkong pada tahun 1988 telah menyebabkan hilangnya potensi perikanan senilai 32 juta US\$ dan di China Timur tahun 1993, kerugian mencapai 150 juta RMB (Hodgkiss, 2000; Tang *et al.*, 2006). Di samping kerugian materi, kejadian kematian masal ikan menyebabkan pula kerugian sosial, seperti hilangnya lapangan kerja nelayan atau nelayan berubah profesinya, seperti yang dilaporkan dalam kejadian kematian masal ikan di Teluk Jakarta pada tahun 2004 (Sinar Harapan, 2004).

Dari kematian masal ikan, maka dapat dikembangkan pembuatan sistem peringatan dini kejadian marak alga dengan tingkatan kondisi aman, waspada dan bahaya dengan parameter yang dapat dijadikan indikator adalah, konsentrasi klorofil-a, kepadatan fitoplankton, kadar oksigen dan kuat lemahnya arus di perairan Teluk Jakarta (**lihat Lampiran 2.4.**).

Dari seluruh parameter tersebut, 2 parameter utama dapat dengan mudah diperoleh datanya, yakni: 1) konsentrasi klorofil-a yang dapat dipantau dalam basis harian menggunakan citra satelit Terra MODIS dan Aqua MODIS melalui pemanfaatan model pendugaan konsentrasi klorofil-a yang dikembangkan dalam penelitian ini, dan 2) tabel pasang surut yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro-Oceanografi (DISHIDROS), Angkatan Laut sebagai perkiraan terhadap kuat dan lemahnya arus di suatu waktu di Teluk Jakarta dengan melihat perbedaan pasang tertinggi dan terendah. Parameter lainnya seperti kadar oksigen pengukurannya dapat dibuat lebih efektif dengan memasang sensor oksigen dan sensor lainnya



pada sebuah platform (seperti *buoy*) di suatu titik dan mengirimkan datanya menggunakan sistem telemetri. Kelimpahan dan jenis fitoplankton merupakan parameter marak alga yang mau tidak mau harus dilakukan secara konvensional melalui prosedur sampling di lapangan dan analisis di laboratorium untuk menduga jenis dan kelimpahannya.

Meskipun sampling dan analisis data fitoplankton dilakukan secara konvensional, namun parameter ini perlu tetap dikaji. Hal ini penting untuk mengantisipasi jenis-jenis dinoflagelata yang berpotensi berbahaya bagi kesehatan manusia, khususnya jenis-jenis yang dapat menghasilkan toksin, sehingga dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia dan bahkan mematikan, seperti PSP (*Paralytic Shellfish Poisoning*) dari jenis *Pyrodinium bahamense*, *Alexandrium tamarense* dan *Gymnodinium catenatum*; DSP (*Diarrhetic Shellfish Poisoning*), seperti *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta* dan *Prorocentrum lima*; NSP (*Neurotoxic Shellfish Poisoning*) seperti, *Gymnodinium breve* dan harus dipantau secara ketat, khususnya kelompok *Ciguatera Fish Poisoning* (CFP), seperti *Gambierdiscus toxicus* yang memiliki kekuatan toksin 45 kali dari toksin yang dihasilkan ular cobra (*Cobra venom*) (UNESCO, 1995). Tidak seperti halnya diatom di mana kondisi bahaya jika kepadatannya mencapai  $10^6$  sel/liter, untuk dinoflagelata berbahaya kepadatan  $10^3$  sel/liter merupakan batas yang harus diwaspadai (Fukuyo, 2000). Pada tingkatan tersebut, perairan ditutup untuk kepentingan di sektor perikanan dan pariwisata, khususnya dilarang untuk mengkonsumsi makanan laut (kerang-kerangan dan ikan). Level toksin dari jenis alga beracun harus dipantau, sehingga mencapai level yang aman.

Di Teluk Jakarta, laporan tentang kejadian marak alga berbahaya yang menyebabkan kematian pada manusia belum pernah tercatat, namun potensinya ada, karena kista dari alga berbahaya ditemukan di teluk ini dan sewaktu-waktu dapat meledak populasinya, sehingga membahayakan kesehatan manusia (Widiarti, 2002).

Di Indonesia HAB telah terjadi di perairan Teluk Ambon, di mana 34 orang dilarikan ke rumah sakit, 3 di antaranya meninggal akibat memakan kerang yang terkontaminasi *Pyrodinium bahamense var* dan PSP (Sidabutar, 2000). Di Selat Lewotobi (NTT), 240 orang sakit, 4 meninggal, di Nunukan, P. Sebatik

(Kaltim), 65 orang keracunan dan 2 meninggal (Adnan, 1984). Di manca negara, seperti di Filipina pada tahun 1983, tercatat 278 orang keracunan dan 21 orang (McLean, 1984).

Hasil pemetaan sebaran konsentrasi klorofil-a yang dibuat dalam kajian ini, dapat menjawab hipotesa kedua, yaitu: "Pemetaan sebaran konsentrasi klorofil-a dapat dijadikan parameter dalam pemantaun terjadinya marak alga".

Salah satu komponen yang dapat digunakan untuk memantau kondisi kualitas perairan adalah bahan organik berwarna terlarut (*Colored Dissolved Organic Matter/CDOM*) (Anastasiou, 2007). Untuk melihat dominasi pengaruh antara darat dan laut di perairan Teluk Jakarta, maka dalam penelitian ini dikaji pula CDOM, yaitu bahan organik berwarna terlarut (CDOM) merupakan komponen optik perairan yang dapat diukur dari materi organik terlarut dalam air yang juga dikenal sebagai bahan organik kromoforik terlarut (*chromophoric dissolved organic matter*) (Bélanger, 2008).

Menurut Wouthuyzen (1991) menunjukkan bahwa pengaruh masukan material tersuspensi, khususnya sedimen (material anorganik) dari darat setelah hujan berkorelasi kuat dengan seluruh band pada panjang gelombang tampak dan inframerah dekat yang dikoleksi dengan menggunakan berbagai sensor.

Di perairan Teluk Jakarta CDOM berkorelasi terbalik dan kuat terhadap salinitas, di mana CDOM tinggi sejalan dengan salinitas rendah teramati pada musim peralihan-1, setelah musim hujan. Sebaliknya, CDOM rendah pada musim peralihan-2 berkorelasi terhadap salinitas permukaan yang tinggi di mana pengenceran salinitas akibat hujan tidak terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa Perairan Teluk Jakarta sangat dipengaruhi oleh CDOM yang berasal dari darat dan terangkut oleh sungai-sungai dan masuk ke Teluk Jakarta. Hasil analisis hubungan antara CDOM dan konsentrasi klorofil-a serta total material tersuspensi (*Total Suspended Solids/TSS*) menunjukkan bahwa CDOM tidak berkorelasi sama sekali terhadap kedua parameter di atas. Hal ini memperlihatkan pula bahwa sumber CDOM dapat digunakan sebagai pelacak (*tracer*) tentang segala sesuatu hal yang berasal dari darat, dan ini berimplikasi bahwa kualitas perairan Teluk Jakarta akan sangat dipengaruhi oleh baik buruknya material muatan di hulu sungai yang masuk ke Teluk Jakarta.

CDOM sebagai pelacak (*tracer*) ditunjukkan pula dari hasil penelitian Ahn (2008) di mana pada musim tertentu pengaruh darat yang masuk ke sungai Yangtse dapat terdeteksi jauh di Laut Cina Timur (East China Sea). Sasaki *et al.*, (2008) menemukan pula pengaruh darat yang masuk ke Sungai Changjiang terdeteksi di perairan Laut yang sama (Laut Cina Timur). Pada perairan yang tidak dipengaruhi lagi oleh sungai, sumber CDOM berasal dari uraian fitoplankton yang mati. Di tengah Laut Karibia sumber CDOM berasal dari ekosistem terumbu karang dan padang lamun. Di Hokaido, Jepang, Sasaki *et al.*, (2005) mendapatkan bahwa pada musim semi sungai bukan merupakan sumber CDOM untuk perairan pantai, karena air sungai yang berasal salju yang mencair tidak membawa CDOM.

Untuk mengelola perairan Teluk Jakarta menjadi baik, maka material yang masuk ke sungai di wilayah JABODETABEK, harus dijaga. Hilangnya keseimbangan ekologis di perairan Teluk Jakarta telah menjadi suatu perdebatan di masyarakat, sementara itu ekosistem perairan Teluk Jakarta mempunyai fungsi yang sangat penting untuk menunjang kehidupan masyarakat sekitarnya, antara lain sebagai sumber perikanan, obyek pariwisata dan rekreasi, dan juga sebagai perairan penampung bahan buangan yang masuk dari berbagai aliran beberapa sungai besar, yaitu Sungai Cisadane, Sungai Ciliwung, Sungai Citarum dan beberapa sungai kecil yang lainnya (Waryono, 2005).

Adanya beberapa sungai tersebut, secara langsung maupun secara tidak langsung memberikan tekanan-tekanan yang terus menerus ke dalam ekosistem perairan Teluk Jakarta, sehingga menimbulkan perubahan terhadap kualitas perairan Teluk Jakarta (Tambunan, 2005).

Sumber pencemaran yang berasal dari daratan mengalir ke perairan Teluk Jakarta melalui tiga cara, yaitu (1) melalui aliran sungai yang bermuara di Teluk Jakarta; (2) melalui aliran air permukaan (*run-off*) dan (3) melalui aliran air tanah (*ground water*) (Onodera *et al.*, 2008). Menurut Steinberg (2007), aktivitas pembangunan yang sangat cepat dan tidak ramah lingkungan dan tidak memperhatikan tata ruang menyebabkan pencemaran lingkungan pada ekosistem di bagian hilir, yaitu wilayah pesisir dan Laut (Teluk Jakarta).

Dengan demikian, hipotesa ketiga dari kajian ini, adalah: “Penurunan kualitas perairan Teluk Jakarta sangat dipengaruhi oleh sungai-sungai yang

bermuara di Teluk Jakarta”, terjawab dari hasil analisis pemetaan CDOM dengan menggunakan data citra satelit multi-temporal .

Jadi, harus diusahakan agar air hujan tidak langsung masuk ke sungai, namun dipertahankan cukup lama pada wilayah hulu sungai dengan berapa cara, antra lain adalah: 1) merevitalisasikan danau-danau di bagian hulu, 2) penanaman kembali vegetasi di tanah yang kritis, 3) membuat sumur-sumur resapan, 4) membuat biophoring, 5). memperketat perlakuan air (*water treatment*) dari berbagai industry, 6) mengusahakan pengolahan buangan rumah tangga, 7) pada perairan pantai, perlu penanaman kembali mangrove pada area-area yang dulunya ditumbuhi mangrove, dan 8) penyelesaian permasalahan di 13 sungai yang bermuara ke perairan Teluk Jakarta membutuhkan pendekatan struktural (pembangunan waduk, tanggul, perbaikan saluran, dan lain sebagainya) dan non-struktural (penerapan kebijakan, partisipasi masyarakat, program konservasi, kesehatan, pertanian, tata ruang dan lain sebagainya). Karena kompleksitasnya, penyelesaian permasalahan tersebut tidak lagi dapat dilakukan secara terpisah-pisah. Diperlukan komunikasi, kerjasama dan kordinasi berbagai sektor antar lembaga dan dilakukan dengan seluruh pemangku kepentingan terkait, yang harus dilakukan secara terpadu (Citarum River Restoration, 2010).

## PENGANTAR PARIPURNA

Mintakat pesisir (*coastal zone*) merupakan kawasan peralihan antara laut dan daratan, di mana ke arah laut pengaruh daratan masih terasa, demikian pula sebaliknya. Kondisi ini menjadikan kawasan pantai berperan penting dalam fungsi ekosistem pesisir (*coastal ecosystem*) yang kompleks, produktif dan memiliki keanekaragaman hayati (*biodiversity*) yang sangat tinggi, seperti hutan bakau (*mangrove*), terumbu karang (*coral reef*), dan tumbuhan air (*submerged aquatic vegetation*), seperti padang lamun dan makro alga. Selain itu, aliran unsur zat hara (*nutrient*) yang berasal dari daratan melalui aliran sungai atau aliran air permukaan (*run-off*) membuat perairan pantai (*in-shore*) menjadi lebih subur dan produktif dibandingkan perairan laut lepas (*off-shore*) dan fakta menunjukkan bahwa kawasan pesisir merupakan tempat konsentrasi penduduk yang tinggi. Sekitar 75% dari total penduduk dunia bermukim di kawasan pesisir. Kota-kota besar dunia juga berada di wilayah pesisir. Keadaan serupa terjadi di Indonesia, yaitu hampir 60% jumlah penduduknya bermukim di kawasan pesisir (seperti: Jakarta, Surabaya dan Makassar) (Dahuri *et al.*, 1996; Dahuri, 1999; Prabowo, 2008). Hal tersebut menunjukkan kawasan pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan yang disebabkan oleh benturan kepentingan (*conflict of interest*) di berbagai sektor (pertanian, pemukiman, industri, pariwisata dan banyak lainnya) dalam kegiatan pembangunan yang cepat, tidak terencana dengan baik dan tidak ramah lingkungan menyebabkan kawasan pesisir tercemar oleh berbagai polutan.

Pencemaran wilayah pesisir terjadi akibat masukan bahan pencemar atau limbah dari kegiatan di daratan sekitarnya (*land based pollution*) melalui sungai-sungai atau kegiatan di perairan pesisir dan laut itu sendiri (*sea based pollution*), seperti kegiatan di pelabuhan, pelayaran dan penambangan lepas pantai. Pada dasarnya pencemaran terjadi akibat terlalu banyaknya bahan pencemar yang masuk ke dalam suatu perairan sehingga melampaui daya dukung alamnya (*carrying capacity*), yang pada akhirnya akan menyebabkan turunnya kualitas perairan (*water quality*) pesisir itu sendiri (Borja *et al.*, 2008; Nobre & Ferreira, 2009).

Beberapa dekade terakhir ini negara-negara berkembang di dunia, seperti Indonesia menghadapi masalah penurunan kualitas lingkungan perairan yang

sangat besar. Salah satu masalah utamanya adalah masuknya limbah organik dari daratan yang masuk ke perairan atau muara laut melalui sungai-sungai dan akhirnya memasuki perairan pantai yang berada di dekat kota-kota (Duarte, 2009).

Memahami proses hulu yang memberikan suatu tekanan pada zona pesisir merupakan komponen yang sangat penting yang akan merubah kualitas perairan pesisir. Untuk itu penggunaan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*-RS) dapat memberikan informasi yang berharga melalui pemetaan penggunaan lahan, jaringan drainase dan data DAS lain yang diperlukan untuk model hidrologi (Pandey *et al.*, 2005). RS juga sangat berguna untuk pemetaan sistem pesisir, seperti lahan basah dan mangrove (Green *et al.*, 1996) serta variabel kunci untuk memonitor kualitas air (Chen *et al.*, 2004). Kekuatan utama RS adalah bahwa hal itu memungkinkan (1) Diperolehnya data secara spasial dan temporal (ruang dan waktu), sehingga dapat digunakan untuk survei yang luas, (2) Pemantauan situasi di masa lalu, dan masa kini baik untuk wilayah darat maupun lingkungan perairan (Lillesand & Kiefer, 2002). Informasi tersebut menjadi bahan dasar untuk evaluasi ekosistem, status sumber daya konservasi atau evolusi tekanan dari waktu ke waktu.

Penggunaan citra satelit untuk pemetaan kualitas perairan dimulai sejak tahun 1973 (Zhang, 2002). Sampai saat ini, pengujian digital informasi tentang panjang gelombang citra tampak dan citra infra merah dekat (NIR) telah digunakan untuk menduga parameter kualitas perairan (Alfoldi & Munday, 1978; Moore, 1980; Austin & Petzold, 1981; Gordon & Morel, 1983, Ferrari *et al.*, 1996). Sementara itu pengamatan Secchi Disk Depth (SDD), konsentrasi klorofil-a, dan bahan organik terlarut (Colored Dissolved Organic Matter-CDOM) dengan penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) dapat memberikan informasi kuantitatif mengenai kondisi kualitas perairan dan dapat digunakan dalam beragam skema numerik untuk menilai kondisi tropik suatu perairan (Carlson, 1977, Ahn *et al.*, 2008).

Penurunan kualitas lingkungan perairan disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk yang sangat cepat dan dampak dari perluasan pembangunan di sekitar perairan yang menghasilkan limbah organik (Dahuri, 1994; Prabowo

2008). Salah satu kawasan pesisir yang mengalami pencemaran adalah perairan Teluk Jakarta (Damar, 2003; Afdal & Riyono, 2008).

Perairan Teluk Jakarta ( $106^{\circ} 21' - 107^{\circ} 03'$  BT dan  $5^{\circ} 10' - 6^{\circ} 10'$  LS), merupakan perairan yang terletak tepat di Utara kota Jakarta, ibu kota Negara Indonesia. Teluk ini dibatasi oleh dua Tanjung, yaitu Tanjung Karawang di sisi barat dan Tanjung Pasir di sisi timur dengan panjang garis pantai 72 km dan luas area berkisar 514 km<sup>2</sup>, serta dengan kedalaman rata-rata 15 meter. Teluk ini memiliki nilai ekonomis yang penting, antara lain:

1. Sumber penghasilan dari sektor perikanan (baik perikanan tangkap dan budidaya);
2. Objek wisata dan rekreasi bahari yang potensial (untuk berenang, berjemur, jalan-jalan di pantai, *snorkling* dan *scuba diving*, memancing, *camping*, jet ski dan sebagainya);
3. Berfungsi sebagai Taman Nasional (Pulau Bokor, Pulau Rambut) dan cagar budaya dan sejarah (Pulau Ohnrust);
4. Tempat penyelenggaraan berbagai aktivitas penelitian, pendidikan dan pelatihan kelautan serta laboratrium alam/lapangan (Pulau Pari, Pulau Pramuka, Pulau Semak Daun);
5. Sebagai penyangga pelabuhan internasional Tanjung Priok dan nasional Sunda Kalapa, serta fungsi lainnya (Wouthuyzen *et al.*, 2007).

Sementara itu, tingginya jumlah penduduk (>20 juta jiwa) serta tingkat pembukaan lahan untuk pembangunan yang sangat cepat, tidak terencana dan tertata dengan baik di kota Jakarta serta kota penyangganya (hinterland), seperti Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi; wilayah Jabodetabek), serta adanya sungai besar yang melintasi wilayah tersebut, yakni Sungai Cisadane, Sungai Ciliwung dan Sungai Citarum, serta 10 sungai-sungai kecil, seperti Sungai Kamal, Sungai Cengkareng Drain, sungai Angke, Sungai Karang, Sungai Ancol, Sungai Sunter, Sungai Cakung, Sungai Blencong, Sungai Grogol dan Sungai Pasanggrahan).

Semua sungai tersebut di atas yang melintasi wilayah pemukiman, pertanian dan perindustrian, sehingga menjadi ancaman serius, baik bagi lingkungan darat

maupun lingkungan perairan seperti Teluk Jakarta (Wouthuyzen *et al.*, 2007). Karena secara terus-menerus sungai-sungai tersebut membawa berbagai macam limbah ke laut dan berpotensi mengubah lingkungan. Perubahan lingkungan tersebut dapat besar atau kecil, berpengaruh sementara atau selama-lamanya, menyebar luas atau sangat terlokalisasi. Jika perubahan itu terdeteksi dan selalu mengarah ke hal-hal yang merusak, maka lingkungan tersebut telah menjadi tercemar (Perez *et al.*, 2003).

Bahan pencemar yang berasal dari aktivitas penduduk yang sangat padat dan pembangunan yang sangat cepat tersebut menyebabkan bahan pencemar yang masuk ke Teluk Jakarta meningkat dari tahun ke tahun, di mana salah satu bentuk pencemaran dari banyak kasus pencemaran di Teluk Jakarta adalah proses eutrofikasi, dengan dampaknya sebagai berikut :

1. Berkurangnya nilai-nilai keindahan tempat pariwisata di wilayah pesisir (Pantai Ancol, Pulau Bidadari). Karena menurunnya tingkat kecerahan perairan, meningkatnya produksi lendir dan bau busuk akibat terjadinya marak alga.
2. Berbahaya bagi kesehatan masyarakat dan bahkan dapat menyebabkan kematian jika saat kejadian marak alga didominasi oleh jenis yang memiliki racun kuat, seperti: dinoflagelata, *Paralytic Shellfish Poison* (PSP). Karena racun tersebut terakumulasi pada hewan laut, seperti kerang-kerangan, ikan, kepiting udang dan organisme lainnya yang kemudian dikonsumsi manusia, mamalia laut, burung laut.
3. Kematian masal ikan, dan berkurangnya keanekaragaman biota dasar yang disebabkan oleh sangat rendahnya kadar oksigen ( $< 2\text{ml/l}$ ) di dasar perairan (*hypoxic*) setelah kejadian marak alga.
4. Hilangnya mata pencaharian masyarakat nelayan, baik nelayan tangkap maupun nelayan budidaya, karena pada saat marak alga masyarakat takut makan produk dari laut (*seafood*).

Untuk mengamati dan menganalisis kondisi kualitas perairan Teluk Jakarta, maka dilakukan penelitian jangka panjang (*Long Term Assessment*) dan jangka pendek (*Short Term Assessment*) untuk mengetahui kondisi kualitas



perairan Teluk Jakarta, berdasarkan status eutrofikasi pada masa lampau, masa kini dan kecenderungannya di masa mendatang, kaitannya dengan kejadian marak alga sehingga terjadinya kematian masal ikan, serta pengembangan sistem peringatan dini (*early warning system*) secara efektif dan efisien dan kaitannya dengan *Colored Dissolved Organic Matter* (CDOM).

Kajian spasial dan temporal kualitas perairan Teluk Jakarta ini dibagi dalam tiga topik makalah, yaitu: 1) Eutrofikasi di Perairan Teluk Jakarta; 2) Marak Alga di Perairan Teluk Jakarta dan 3) Kajian Sistem Pemantauan Kualitas Perairan Dengan Parameter CDOM di Perairan Teluk Jakarta, di mana satu sama lain saling berkaitan.

### **1. Kajian Tentang Eutrofikasi di Perairan Teluk Jakarta**

Eutrofikasi adalah suatu kondisi suatu perairan sedang mengalami proses pengayaan nutrisi organik dan anorganik (*nutrient enrichment*) yang berdampak pada perubahan produksi primer dan struktur biologi di perairan tersebut. Jadi, eutrofikasi dapat didefinisikan sebagai meningkatnya level makanan (*trophic level*) pada suatu ekosistem (perairan) yang disebabkan masukan nutrisi yang sangat berlebihan atau pengayaan nutrisi baik organik maupun anorganik pada lapisan eufotik atau lapisan perairan yang cukup cahaya matahari. Fenomena ini telah menyebar luas di seluruh wilayah pesisir di dunia dan menjadi masalah yang serius dalam 2-3 dekade belakangan ini.

Menurut Cloern (2001), konsep eutrofikasi yang pertama kali dikembangkan oleh para ahli limnologi yang sangat terinspirasi oleh konsep hubungan kasus sederhana yang mencakup rasio dari tanda-tanda dan respon eutrofikasi. Studi tentang eutrofikasi di perairan pesisir meningkat secara signifikan, sehingga menghasilkan pemahaman bahwa eutrofikasi di perairan pesisir lebih kompleks dibandingkan dengan sistem perairan itu sendiri (Rosenberg, 1985; Olli *et al.*, 1996; Cloern, 2001).

Berdasarkan waktu kejadiannya, proses eutrofikasi dapat dikategorikan dalam 2 kelompok, yaitu: (1) Eutrofikasi alami (*natural eutrophication*) kejadiannya berlangsung dalam waktu yang sangat lama berkisar  $10^3$ -  $10^4$  tahun,

sehingga ekosistem perairan tersebut mampu beradaptasi dengan masuknya nutrisi ke perairan; (2) Eutrofikasi buatan (*cultural/man-made eutrophication*) di mana kejadiannya berlangsung cepat berkisar 10 tahun atau kurang, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem yang berdampak pada gangguan lingkungan dan membahayakan sumberdaya hayati (Grobler & Silberbaur, 1985; Andersen *et al.*, 2006; Howarth, 2008; Nixon, 2009).

Analisis terjadinya proses eutrofikasi di suatu perairan sangat kompleks. Ada beberapa indikator yang dapat digunakan dalam mengkaji fenomena eutrofikasi di suatu perairan, yaitu : Meningkatnya konsentrasi zat hara (nutrisi, fosfat, nitrat dan silikat) yang sangat tinggi ke perairan pantai yang selanjutnya disusul dengan meningkatnya konsentrasi klorofil-a (Boynton *et al.*, 1982; Nixon & Pilson, 1983), yang disebabkan oleh meledaknya populasi mikro-alga bersel tunggal (fitoplankton) baik yang berbahaya, maupun yang tidak berbahaya di berbagai perairan di dunia (Chiaudani *et al.*, 1980; Hodgkin & Birch, 1982; Kelly & Naguib, 1984; Gillbricht, 1988; Whitley & Pulich, 1991; ORCA, 1992; Rabalais *et al.*, 1996; Burkholder *et al.*, 1992, 1995, 1999, Bonsdorff *et al.*, 1997; Okaichi, 1989, 1999; GEOHAB 2001; 2003, 2005).

Tujuan khusus penelitian ini adalah: (1) Menganalisis data kualitas perairan Teluk Jakarta yang dapat berfungsi sebagai indikator proses eutrofikasi, dengan menggunakan cara yang efektif dan efisien, yaitu menggunakan teknik penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) dengan memanfaatkan data citra satelit Landsat dan (2) Mengkaji kondisi eutrofikasi pada masa lampau, masa kini dan kecenderungannya di masa mendatang berdasarkan model *Assessment of Estuarine Trophic Status* (ASSETS), ditimbulkannya dapat dipahami dan dapat ditanggulangi sedini mungkin.

## **2. Kajian Tentang Marak Alga di Perairan Teluk Jakarta Jakarta**

Kualitas perairan sangat dipengaruhi oleh keseimbangan ekosistem perairan, di mana akan terganggu oleh adanya eutrofikasi yang menyebabkan meningkatnya jumlah fitoplankton dan produksi primer. Perubahan pada struktur komunitas fitoplankton, akan meningkatkan intensitas dan frekuensi marak alga namun menurunkan keragaman (*biodiversity*) flora dan fauna lainnya (lamun,

terumbu karang), dan banyak lainnya. Matriks yang didasarkan pada jumlah dan produktifitas fitoplankton digunakan secara luas sebagai indikator terjadinya eutrofikasi (HELCOM, 2002; Nixon *et al.*, 2002; OSPAR, 2003; EEA, 2007).

Eutrofikasi antropogenik telah dihubungkan dengan meningkatnya konsentrasi nutrisi yang menyebabkan kondisi yang mengkhawatirkan seperti meningkatnya marak alga baik yang mengandung toksin menurunnya konsentrasi oksigen dan kematian. (*Harmful Algal Blooms*) (Dugdale *et al.*, 1981; Furuya & Marumo, 1983; Parsons *et al.*, 1984; Cohen, 1986; Furuya, 1990; Gaedke, 1995; Nixon, 1995; Gilbert & Burkholder, 2008).

Kondisi di mana populasi mikro-alga meledak (dalam tulisan ini diistilahkan sebagai "marak alga" sebagai terjemahan dari (*Harmful Algal Blooms*/HAB) yang selanjutnya istilah tersebut akan dipakai dalam tulisan ini) akan disusul dengan menurunnya kadar oksigen terlarut di perairan yang sangat drastis (kondisi anoxia/hypoxia), sehingga dapat menimbulkan kerugian besar, seperti kematian masal ikan (*massive fish kill*) (Whitledge, 1985; Gerlach, 1990; National Research Council, 2000), menurunnya produksi budidaya perikanan (Joint *et al.*, 1997), hilangnya flora dan fauna benthik lainnya (Twilley *et al.*, 1985; Burkholder *et al.*, 1992; Rabalais & Harper, 1992; Mc Glathery, 2001).

Tujuan khusus penelitian ini adalah: (1) Mengkaji kejadian marak alga di perairan Teluk Jakarta secara efektif dan efisien (teknik penginderaan jauh) dengan memanfaatkan data citra satelit melalui tahapan, pemetaan, pemantauan dan evaluasi konsentrasi klorofil-a sebagai indikator marak alga; (2) Melihat dampak marak alga dan mencari pemahaman antara kejadian marak alga dan kematian masal ikan di perairan Teluk Jakarta dan (3) Merancang sistem pendeteksian dini (*early warning system*) yang dapat diaplikasikan ke masyarakat pemangku kepentingan (*stake holder*) atau pengguna (*user*) perairan Teluk Jakarta.

### **3. Kajian Sistem Pemantauan Kualitas Perairan Dengan Parameter CDOM di Perairan Teluk Jakarta**

Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk mengetahui dan memantau kualitas perairan pesisir adalah komponen CDOM (*Colored Dissolved Organic Matter*), dengan memanfaatkan data dari citra satelit. CDOM merupakan

tempat penampung karbon organik (*organic carbon*) di dalam sistem perairan, yang berkontribusi terhadap penyerapan cahaya matahari dan digunakan sebagai bahan aktivitas bakteri yang membawa C (*Carbon*), N (*Nitrogen*) dan P (*Phosphorus*), ke dalam sistem perairan pesisir yang secara langsung mempengaruhi radiasi sinar matahari (*solar radiation*) dan akan menimbulkan terjadinya proses eutrofikasi (Corbett, 2007).

Salah satu komponen yang dapat digunakan untuk memantau kondisi kualitas perairan adalah bahan organik berwarna terlarut (*Colored Dissolved Organic Matter/CDOM*) (Anastasiou, 2007). Bahan organik berwarna terlarut (CDOM) merupakan komponen optik perairan yang dapat diukur dari materi organik terlarut dalam air yang juga dikenal sebagai bahan organik kromoforik terlarut (*chromophoric dissolved organic matter*) (Bélanger, 2008).

CDOM memiliki banyak peranan biologis di dalam sistem perairan, yaitu: (1) Mempengaruhi distribusi spasial konsentrasi klorofil; (2) Mengontrol produksi primer dengan adanya ketersediaan cahaya; dan (3) Menghasilkan senyawa organik berat yang dapat dimanfaatkan oleh mikroba (Heil, 2007). Sebagai hasil sampingan dari fotosintesis, klorofil merupakan indikator kunci dari aktivitas fitoplankton, di mana CDOM dan klorofil mempunyai rentang spektrum yang sama sehingga sulit untuk membedakan antara keduanya.

Tujuan khusus penelitian ini adalah: (1) Memantau dan mengkaji variabilitas CDOM di perairan Teluk Jakarta dan (2) Mengkaji apakah perairan Teluk Jakarta dipengaruhi oleh CDOM berasal dari komponen darat atau komponen laut.

## **PERNYATAAN PERMASALAHAN**

Di Indonesia, studi tentang kualitas perairan di suatu perairan pesisir masih terbatas, sehingga sangat dibutuhkan adanya suatu studi yang tepat tentang eutrofikasi untuk memahami kondisi eutrofikasi pada lingkungan tropis dan sebagai dasar untuk studi yang lebih mendalam dan yang dapat dijadikan acuan sebagai strategi pengelolaan perairan pesisir (Kaswadji *et al.*, 1993).

Ada beberapa permasalahan yang menyebabkan menurunnya kualitas perairan di Teluk Jakarta, yaitu: (1) Permasalahan eutrofikasi yang terjadi di Teluk Jakarta walaupun sudah berlangsung sekitar 2-3 dekade, namun belum ada satu pun penelitian ilmiah yang secara seksama mengamati proses tersebut, sehingga belum diketahui bagaimanakah kondisi dan status eutrofikasi di Perairan Teluk Jakarta yang sesungguhnya. Selain itu, belum juga diketahui seberapa jauh kondisi eutrofikasi perairan di Teluk Jakarta yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Pengelolaan yang bagaimana yang harus ditargetkan untuk mencapai pemanfaatan/keuntungan bagi pengguna Teluk Jakarta melalui upaya remediasi dan pencegahan penurunan kualitas perairan, (2) Permasalahan meningkatnya pasokan zat hara dari sungai-sungai besar yang bermuara di perairan Teluk Jakarta dan permasalahan sering timbulnya kejadian marak alga yang mengakibatkan kematian masal ikan.

#### **MANFAAT PENELITIAN**

Manfaat dari Kajian spasial dan temporal kualitas perairan Teluk Jakarta, adalah sebagai berikut:

1. Tersedianya data dasar (*data base*) kualitas perairan yang diperoleh secara efektif dan efisien melalui teknologi penginderaan jarak jauh (*remote-sensing/RS*) dibandingkan dengan teknologi konvensional.
2. Diketuinya status perairan Teluk Jakarta, khususnya yang berkaitan dengan eutrofikasi dan kejadian marak alga.
3. Terbentuknya sistem peringatan dini marak alga (*early warning system*).
4. Adanya rekomendasi yang dapat dipakai untuk memantau, mengevaluasi dan mengelola perairan Teluk Jakarta.
5. Bahan informasi untuk penelitian lebih lanjut di masa mendatang.

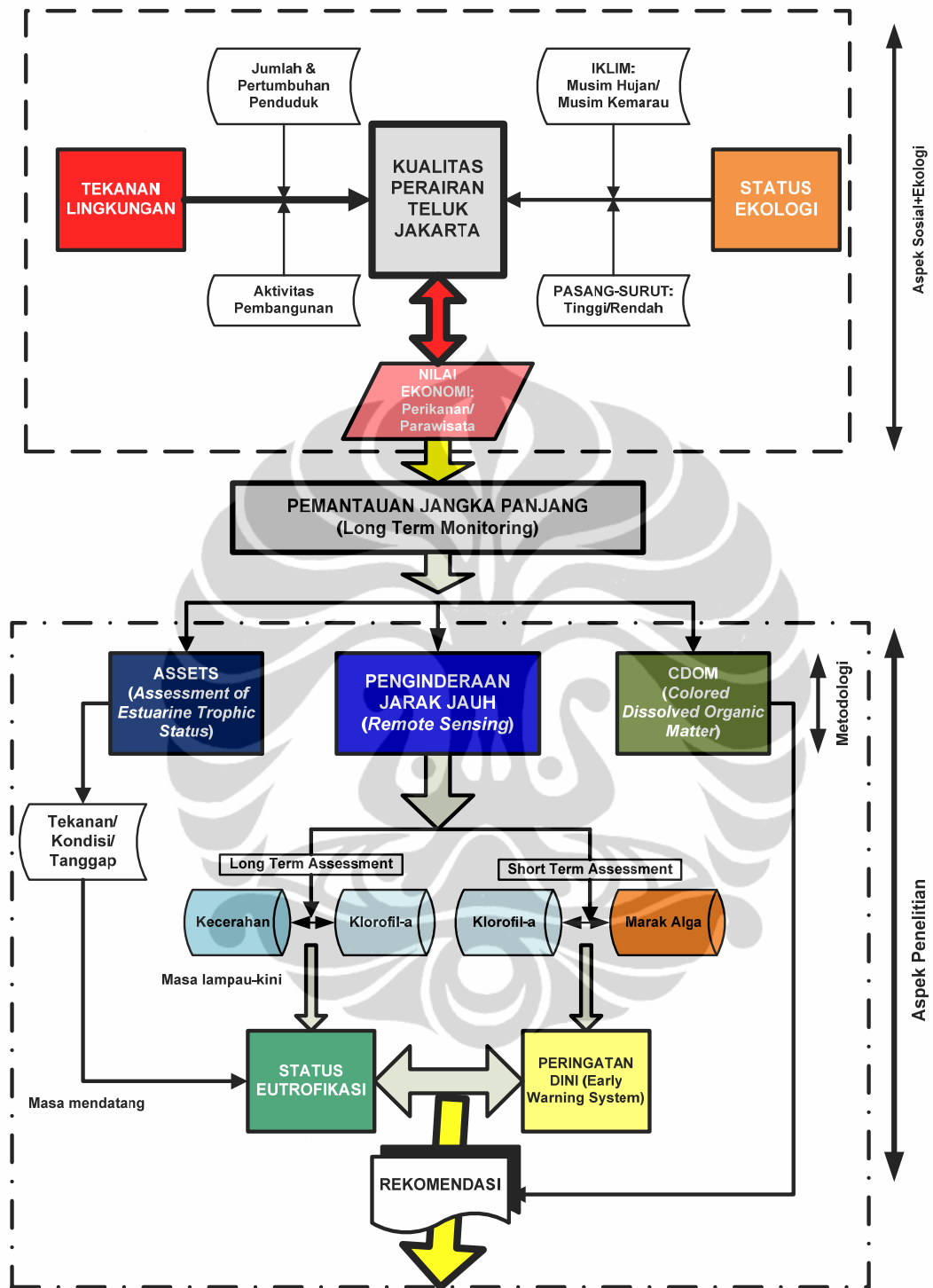
#### **HIPOTESA**

1. Proses eutrofikasi di perairan Teluk Jakarta semakin meningkat dari tahun ke tahun.

2. Pemetaan sebaran konsentrasi klorofil-a dapat dijadikan parameter dalam pemantauan terjadinya marak alga.
3. Penurunan kualitas perairan Teluk Jakarta sangat dipengaruhi oleh sungai-sungai yang bermuara di Teluk Jakarta.

Seperti yang dijelaskan di atas sebelumnya, beberapa permasalahan yang terjadi di perairan Teluk Jakarta dengan penelitian yang dilakukan dapat dirangkum seperti dalam Gambar 1. di bawah ini.





Gambar 1. Alur kajian berdasarkan permasalahan kualitas perairan di Teluk Jakarta.

