

# ANALISIS SEBARAN TEMPERATUR DAN SALINITAS AIR LIMBAH PLTU-PLTGU BERDASARKAN SISTEM PEMETAAN SPASIAL (STUDI KASUS : PLTU-PLTGU TAMBAK LOROK SEMARANG)

Haryono Setiyo Huboyo<sup>\*)</sup>, Badrus Zaman<sup>\*)</sup>

## ABSTRACT

*Heat wastewater emitted by power plant near seashore will be dispersed to bulk seawater by stream. The main effects generated by this elevated streams is deteriorating of benthic and aquatic life productivity. Further impact is subjected to depleting dissolved oxygen and seawater salinity content. By means of spatial mapping, the pattern of temperature distribution would be revealed and its impact could be predicted by then. Measurements of 14 purposive sampling spots were conducted in the early morning, noon and afternoon within Tambak Lorok Port pond. Control measurements also were taken in the East side and West side of the pond. Temperature distribution observed from the early morning through the afternoon exhibited the same pattern with dissolved oxygen distribution as well as stream pattern. Turbidity distribution accumulated in the East side, mixed with domestic waste stream carrying large amount suspended solids. Salinity distribution showed a little bit different pattern with temperature distribution considering that salinity pattern was affected by incoming streams from bulk seawater in the Northwest and Northeast of the pond.*

**Keywords:** *wastewater, temperature, salinity, dissolved oxygen*

## PENDAHULUAN

PLTU-PLTGU di Tambak Lorok, Semarang Jawa Tengah yang mensuplai kebutuhan listrik di Jawa dan Bali menghasilkan limbah panas dan langsung dibuang ke badan air. Pembuangan air limbah secara langsung ke badan air sekitarnya tanpa melalui proses pendinginan kembali dapat menyebabkan pengaruh baik langsung maupun tidak langsung berupa perubahan kualitas perairan maupun pengaruh terhadap organisme yang hidup di dalam badan airnya (Trihadiningrum dan Tjondronegoro, 1998).

Perubahan temperatur tersebut kemungkinan juga dapat mempengaruhi salinitas baik terhadap air limbah pendingin sendiri maupun terhadap perairan sepanjang penyebaran air limbah tersebut karena adanya proses pencampuran antara air limbah dengan badan air di titik pembuangan dan sekitarnya.

Dengan melihat kondisi tersebut perlu adanya suatu penelitian mengenai sebaran temperatur dan salinitas buangan air limbah tersebut sebagai salah satu cara monitoring kondisi lingkungan.

Untuk mengetahui sebaran air limbah ke badan air sekitarnya tersebut perlu

adanya suatu sistem yang informatif karena berdasarkan penelitian-penelitian yang ada pada umumnya hanya memberikan database yang kadang kurang memberikan kemudahan untuk dipahami dengan baik dan kurang informatif padahal informasi tersebut sangat diperlukan untuk program mengenai kualitas lingkungan dimasa datang (Bhattacharya *et al.*, 2003). Sistem yang informatif akan memberi kemudahan dalam analisa kondisi lingkungan yang terjadi khususnya mengenai kondisi penyebaran limbah air panas dan kemungkinan perubahan salinitasnya.

## Pencemaran Air Limbah Panas

Pencemaran air limbah panas (*thermal pollution*) adalah masukan dalam jumlah besar air yang mengalami pemanasan dari satu atau sejumlah industri yang menggunakan sumber yang sama sehingga temperatur airnya melebihi kondisi normalnya serta dapat menyebabkan efek merugikan pada kehidupan perairannya (Neves dan Lourenco 1996; GEMET, 2000; explosive Dictionary, 2001; Ratterman, 2003; www.willamette.edu, 2004; www.Discoverycube.org, 2004; mathInScience.info, 2004, Anonymous, 2004). Industri air

pendingin merupakan sumber awal panas dimana pembangkit tenaga listrik menggunakan 80% air pendingin (Neves dan Lourenco 1996; Kristanto, 2002).

Luas pengaruh limbah panas tergantung pada beberapa faktor yaitu volume air limbah, temperatur air limbah, temperatur air tempat pembuangan limbah, arus atau sirkulasi massa air tempat pembuangan limbah panas. Limbah panas menyebabkan pengaruh baik fisik, kimia maupun biologi. Secara fisik berpengaruh terhadap densitas, viskositas, tekanan uap, dan kelarutan. Pengaruh terhadap densitas dan viskositas berdasarkan hukum Stokes tentang pengendapan padatan dalam medium non-turbulen seperti dirumuskan sebagai berikut (Tchobanoglous dan Burton, 1991; Neves dan Lourenco, 1996):

$$V_t = \frac{D^2 g}{18\mu} (\rho_s - \rho_f)$$

dengan :  $V_t$  = kecepatan pengendapan (m/s)  
 $D$  = diameter partikel (m)  
 $g$  = kecepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
 $\mu$  = viskositas dinamik (N.s/m<sup>2</sup>)  
 $\rho_s$  = densitas padatan (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_f$  = densitas cairan (kg/m<sup>3</sup>)

Berdasarkan persamaan tersebut dapat dilihat bahwa temperatur akan mengalami kenaikan dengan penurunan  $\rho_f$  and  $\mu$ . Dan kemudian  $V_t$  naik, dimana kenaikan temperatur dipengaruhi oleh lokasi dan jumlah deposit sedimen. Densitas yang sedikit berbeda (0,001-0,002) dapat disebabkan oleh adanya stratifikasi, juga tergantung pada kedalaman dan pergerakan air yang menghambat pencampuran secara vertikal (*vertical mixing*) dan transfer oksigen.

Pengaruh terhadap tekanan uap yang akan naik sejalan dengan kenaikan temperatur dan mempengaruhi laju evaporasi yang akan naik sejalan dengan kenaikan tekanan uap karena adanya perbedaan tekanan uap udara dan air serta aliran udara seperti persamaan sebagai berikut (Neves dan Lourenco, 1996) :

$$F = \frac{CW}{L} (e_s - e_a)$$

dengan:  $F$  = flux evaporasi (kg m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)  $L$  = panas laten (J kg<sup>-1</sup>)  
 $C$  = koefisien empiris evaporasi  $W$  = kecepatan angin (m s<sup>-1</sup>)  
 $e_s$  = tekanan uap dari udara jenuh pada temperatur di permukaan air (Pa)  
 $e_a$  = tekanan uap lapisan udara (Pa)

Kelarutan gas secara langsung sebanding dengan tekanan parsial yang dipengaruhi temperatur pada kondisi setimbang. Perubahan temperatur menyebabkan oleh perubahan keseimbangan dinamis oksigen dalam air yang kompleks yang berhubungan dengan reaerasi atmosfer, produksi fotosintesis, difusi, *mixing* dan sebagainya.

Pengaruh secara kimia adalah terhadap kecepatan reaksi dimana reaksi pada kondisi yang setimbang akan berubah sejalan dengan perubahan temperatur. Kecepatan reaksi akan naik sekitar dua kalinya untuk setiap kenaikan 10<sup>o</sup>C. Banyak reaksi yang mempengaruhi kualitas air yaitu reaksi biokimia dan sekitar pusat aktivitas mikroba. Rasa dan bau terjadi pada air yang hangat karena terjadinya penurunan kelarutan terutama gas H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, SO<sub>x</sub>.

Efek temperatur mempunyai dampak spesifik sehingga perlu dipelajari efeknya terhadap spesies lokal yang penting. Tingkat oksigen dan salinitas turut mempengaruhi efek tersebut. Penurunan oksigen terlarut dan kenaikan laju metabolisme dapat berkombinasi yang membuat lingkungan kurang sesuai bagi kehidupan ikan.

Temperatur air yang lebih hangat menyebabkan organisme perairan mengalami peningkatan laju respirasi dan peningkatan konsumsi oksigen serta lebih mudah terkena penyakit, parasit dan bahan kimia beracun. Sedangkan untuk meminimalisir efek panas yang berlebihan terhadap ekosistem perairan adalah melalui mengurangi penggunaan dan pembuangan listrik dan pembatasan jumlah buangan air panas ke dalam badan air yang sama, kontrol dengan dilusi, mentransfer panas dari air ke atmosfer dengan tower pendingin basah atau kering, pembuangan air panas ke dalam kolam yang dangkal atau kanal untuk pendinginan dan memanfaatkan kembali (*reuse*) sebagai air pendingin (*cooling water*).

### Salinitas

Merupakan jumlah gram garam yang terlarut dalam satu kilogram air laut ( Millero and Sons, 1992). Konsentrasi garam dikontrol oleh batuan alami yang mengalami pelapukan, tipe tanah, dan komposisi kimia dasar perairan. Salinitas

merupakan indikator utama untuk mengetahui penyebaran massa air laut sehingga penyebaran nilai-nilai salinitas secara langsung menunjukkan penyebaran dan peredaran massa air dari satu tempat ke tempat lainnya. Penyebaran salinitas secara alamiah dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain curah hujan, pengaliran air tawar ke laut secara langsung maupun lewat sungai dan gletser, penguapan, arus laut, turbulensi percampuran, dan aksi gelombang (Meadows dan Campbell, 1988; Illahude, 1999).

Di samudera salinitasnya berkisar antara 34-35 ‰ (Nontji, 1993). Variasi salinitas di permukaan air sangat mirip dengan keseimbangan evaporasi dan presipitasi (Meadow dan Campbell, 1988). Salinitas merupakan faktor pembatas bagi organisme perairan terutama yang berada pada range yang sempit. Densitas air laut naik sejalan dengan kenaikan salinitas dan tekanan serta penurunan temperatur. Satu bagian per 1000 garam kenaikan densitasnya sekitaar 0,8 bagian per 1000 (Meadows dan Campbell, 1988)

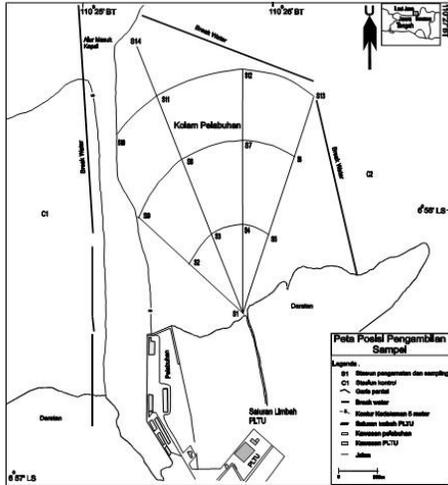
### **Program Surfer**

Menurut Keckler (1995) Surfer merupakan program komputer yang berdasar pada grid untuk menghasilkan kontur dan gambar permukaan tiga dimensi yang di jalankan dengan program windows. Surfer versi 7.0 dapat menginterpolasi data XYZ yang tidak beraturan ke dalam bentuk grid beraturan yang digunakan untuk menghasilkan peta-peta kontur dan plot-plot permukaan. Peta-peta hasil surfer dapat dikembangkan dengan penambahan informasi pembatas, titik-titik data, kombinasi beberapa peta, penambahan gambar ke dalam peta, penandaan peta dengan teks, penempatan beberapa peta menjadi satu halaman, dan *overlay* peta. Selain fungsi tersebut dari file-file data dapat dilakukan perhitungan dan dapat menentukan volume di bawah permukaan atau diantara dua permukaan, menghitung volume-volume di atas dan di bawah bidang (volume potongan dan isi), menghitung area permukaan, dan proyeksi bidang luasan permukaan atau bagian permukaan, mengkreasi file data untuk menunjukkan profil potongan vertikal (*cross sectional*) atau menghitung perbedaan antara interpolasi data dalam file grid dengan data aslinya (residu).

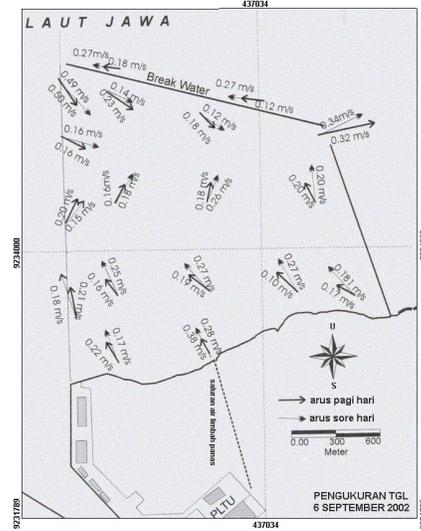
### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan studi kasus dengan metode purposif sampling, dengan pengambilan sampel dilakukan dengan *survey sample method*. Penentuan titik sampling didasarkan pada pendugaan air limbah dari PLTU-PLTGU tersebut menyebar secara merata dalam kolam pelabuhan sehingga titik samplingnya didasarkan pada jaring-jaring seperti pada gambar 1 dan diharapkan dapat ditentukan arah sebaran sebenarnya dari hasil pengukuran pada stasiun sampling tersebut. Titik sampling dibentuk dengan menarik garis dari titik hilir saluran pembuangan limbah PLTU-PLTGU yang membentuk suatu pola tertentu sehingga dapat mewakili seluruh kolam pelabuhan dimana aliran pembuangan limbah hanya satu titik. Titik sampling seperti pada gambar 1 dimana terdapat 14 stasiun sampling.

Kontrol ditentukan pada 2 titik sampling (C1 dan C2) yaitu stasiun sampling yang terletak diluar kolam pelabuhan dan diasumsikan sebagai lokasi yang tidak terpengaruh oleh buangan air limbah dari PLTU-PLTGU. Stasiun C1 merupakan stasiun kontrol yang terletak di sebelah barat kolam pelabuhan dan sebagai titik inlet air pendingin PLTU-PLTGU dan C2 berada di sebelah timur kolam pelabuhan. Peta lokasi sampling dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Peta Posisi Pengambilan Sampel  
 Lokasi Penelitian  
 sumber: Dishidros TNI AL (1986)



Gambar 2. Situasi Arus di Lokasi Penelitian  
 Sumber: Fuad (2003)

Data tersebut diolah menjadi berbagai peta kontur dari berbagai parameter tersebut. Hasil dari program surfer tersebut kemudian dimasukkan ke dalam peta plot sehingga pola sebaran air limbah yang terjadi dapat dilihat dan dapat dilakukan perkiraan dampaknya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola sebaran temperatur pada pagi hari terjadi pemusatan temperatur yang tinggi di lokasi sekitar aliran pembuangan limbah panas PLTU yaitu koordinat UTM 437000 – 436200 (gambar 2a). Debit air limbah panas PLTU sebesar  $10.8 \text{ m}^3/\text{detik}$  diperkirakan membentuk pola menguncup di koordinat tersebut.

Nilai temperatur tertinggi yang teramati adalah  $32.53 \text{ }^\circ\text{C}$ , lebih rendah dibanding pengamatan primer di outlet PLTU sebesar  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  yang diukur pada malam hari. Sebaran temperatur pada siang hari lebih mengarah lateral sebanding dengan pola arus yang ada (gambar 2b) dengan temperatur tertinggi yang teramati sebesar  $32.8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sore hari, sebaran temperatur lebih meluas dan lebih homogen kearah lateral dengan temperatur tertinggi di aliran pembuangan PLTU mencapai  $33.63 \text{ }^\circ\text{C}$ . Semakin tingginya pola temperatur di sore hari dibanding waktu siang dan pagi hari disebabkan oleh pemanasan sinar matahari karena air laut

memiliki kapasitas panas yang tinggi (Pinet,1992).

Berdasar teori Hukum Stokes, seharusnya semakin rendah temperatur di daerah yang jauh dari daratan maka semakin tinggi kecepatan pengendapan partikel sehingga turbiditas juga makin kecil. Namun dari pola turbiditas tidak terdapat pola yang jelas keterkaitan antara turbiditas dengan pola sebaran temperatur. Hal ini disebabkan kondisi perairan yang turbulen akibat pengaruh pembatas kolam pelabuhan (*break water*).

Sebaran turbiditas yang terkumulasi di bagian Timur, karena pengaruh aliran arus dari daerah aliran sungai daerah pemukiman nelayan yang cenderung memiliki nilai kekeruhan yang tinggi. Penelitian dimuara Banjir Kanal Timur oleh Suhartono (2004) menunjukkan nilai kekeruhan diantara  $25.3 - 35.7 \text{ NTU}$ . Peningkatan kekeruhan juga akan meningkatkan temperatur air karena partikel padat cenderung mengabsorb cahaya yang lebih banyak dibanding air (Anonym, 2004).

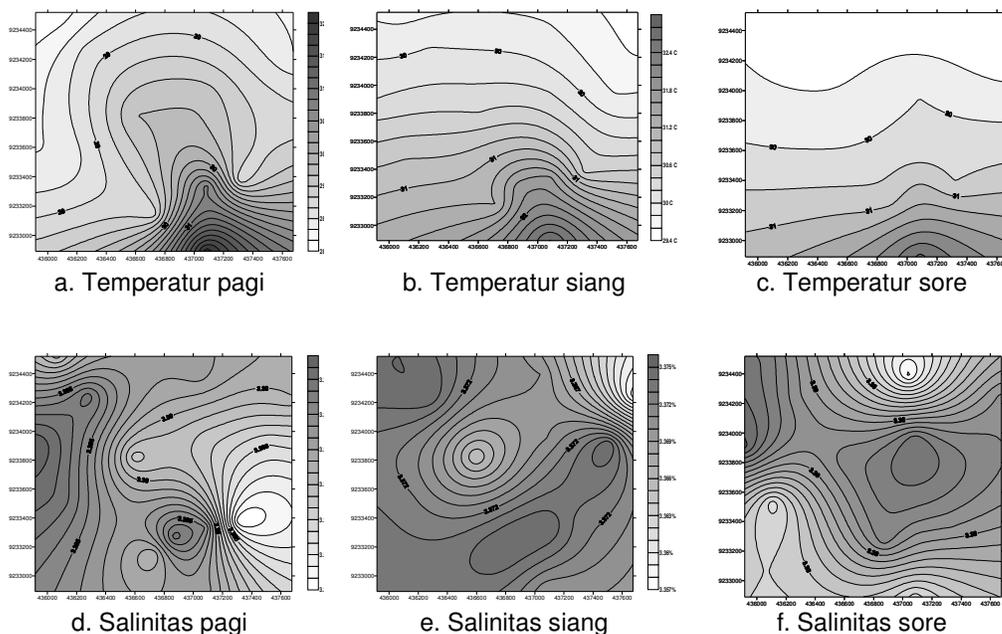
Sebaran temperatur sangat berkaitan dengan sebaran oksigen terlarut, semakin tinggi temperatur semakin rendah oksigen terlarutnya. Pola kenaikan oksigen terlarut (DO) pada pagi hari sampai sore hari sebanding dengan pola penurunan temperatur pada pagi hari sampai sore dari Selatan ke Utara (gambar 2a, 2b, dan 2c). Hanya sedikit terjadi perbedaan pada arah

penyebaran, dimana untuk penyebaran DO sedikit mengarah ke Barat. Persebaran temperatur diatas temperatur normal ini diperkirakan akan menimbulkan dampak seperti (GEMET, 2000): mempengaruhi metabolisme kehidupan akuatik (sensitif terhadap racun, migrasi biota) serta menurunkan kadar oksigen terlarut.

Sebaran salinitas (gambar 2d, 2e, dan 2f) memperlihatkan adanya kecenderungan perbedaan salinitas antara waktu pagi, siang dan sore. Nilai tertinggi salinitas mencapai 3.402‰ di bagian Barat hingga tengah waktu sore hari, sedang nilai terendah salinitas yaitu 3.36‰ di bagian Timur Laut waktu siang hari. Secara sederhana ada dua hal penting yang berpengaruh terhadap salinitas yaitu evaporasi dan presipitasi (Pinet,1992).

Berhubung penelitian dilakukan pada musim kering, maka faktor yang berpengaruh adalah evaporasi. Evaporasi akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Jadi pola sebaran salinitas (gambar 2d, 2e, dan 2f) seharusnya bersesuaian dengan pola sebaran temperatur. Namun dari gambar tersebut, pola sebaran salinitas nampak lebih acak (dari waktu pagi-sore hari). Hal ini dipengaruhi oleh arus masuk dari luar kolam ke dalam kolam pelabuhan yang berada di sisi Barat Laut dan Timur Laut.

Perubahan salinitas berpengaruh terhadap kehidupan biota laut terutama spesies euryhaline dan spesies air payau yang tidak tahan terhadap salinitas diatas 30‰ (Meadows dan Campbell, 1988).



Gambar 3. Pola Sebaran Temperatur dan Salinitas di Waktu Pagi Hingga Sore

**KESIMPULAN**

Pengamatan distribusi temperatur menunjukkan adanya gradasi nilai temperatur air dari outlet pembuangan limbah panas PLTU ke arah Utara dan lateral. Sedangkan pengamatan distribusi salinitas menunjukkan pola yang lebih acak karena pengaruh aliran keluar masuk air laut ke kolam pelabuhan.

Berdasar analisis spasial, sebaran temperatur sangat berkaitan dengan sebaran oksigen terlarut dan sedikit berpengaruh terhadap distribusi turbiditas. Distribusi salinitas lebih sulit diprediksi pengaruhnya karena efek aliran arus keluar masuk di kolam pelabuhan yang mengakibatkan adanya campuran salinitas dari luar kolam pelabuhan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Diponegoro (c.q Lemlit Undip) karena penelitian ini didanai dari DIK Rutin Universitas Diponegoro tahun anggaran 2004. Penulis juga mengucapkan penghargaan atas bantuan beberapa mahasiswa Teknik Lingkungan dan mahasiswa Biologi dalam pelaksanaan sampling di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous, 2000, *General Environmental Multilingual Thesaurus (GEMET)*, <http://www.gemet.com>
- \_\_\_\_\_, 2001, *Explosive Dictionary (Definitions of Technical Terms)*, <http://projects.ghostwhell.com/dictionary>
- \_\_\_\_\_, 2004, *Thermal Pollution*, <http://MathInScience.info>
- \_\_\_\_\_, 2004, *Thermal Pollution*, <http://www.willamette.edu/~ecarus0/thermal.htm>
- Bhattacharya, B., Sarkar, S.K., Das, R. 2003. *Seasonal Variation And Inherent Variability of Selenium In Marine Biota of a Tropical Wetland Ecosystem: Implication for Bioindicator Species*. J. Eco. Indicators . Vol .2 (2003). Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/ecolind>
- Fuad, M Arif Z, 2003. *Pola Penyebaran Air Limbah PLTU Tambak Lorok Semarang, Praktek Kerja Lapangan Jurusan Ilmu Kelautan FPIK Undip*.
- Ilahude, 1999. *Pengantar ke Oseanologi Fisika*. LIPI. Jakarta.
- Keckler, Doug. 1995. *Surfer for Windows*. Golden Software Inc. USA.
- Kristanto, Philip, 2002, *Ekologi Industri*, LPPM Univ. Kristen Petra Surabaya&Andi Yogyakarta
- Laevastu and Taivo, 1996. *Exploitable Marine Ecosystems: Their Behaviour and Management*. First edition. Blackwell Science, Inc. Massachusetts.
- Meadows, P.S., Campbell, J.I.1988, *An Introduction to Marine Science*, John Wiley and Sons, New York.
- Millero, F.J. dan Sohn, M.L., 1991, *Chemical Oceanography*, CRC Press, London
- Neves,R dan Lourenco, S., 1996, *ThermalPollution*. <http://www.Cape.canterbury.ac.Nz/archive/THERMAL/tte1.htm>
- Nontji, A.1993. *Laut Nusantara*. Djambatan. Jakarta.
- Pinet, Paul R.1992. *Oceanograph: An Introduction to the Planet Oceanus*. West Publishing company.New York
- Ratterman, Gretchen, 2003, *The Thermal Pollution of Water*. <http://outreach.ecology.uga.edu/watershed/thermal/htm>.
- Suhartono,Edy. 2004. *Identifikasi Kualitas Perairan Pantai Akibat Limbah Domestik dan Alternatif Pengendaliannya (Studi kasus Jakarta, Semarang dan Jepara)*, Tesis Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Undip.
- Tchobanoglous, G dan Burton, F.L., 1991. *Waste Water Engineering: Treratment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill. New York. USA
- Thayib, M. H. 1994. *Pencemaran Ekosistem Laut dan Tata Ruang (Seminar Pencemaran Laut dan Penanggulangannya)*. LON LIPI. Jakarta.
- Trihadiningrum, Y. dan Tjondronegoro, I. 1998. *Makroinvertebrata Sebagai Bioindikator Pencemaran Badan Air Tawar di Indonesia Siapkah Kita ?*. Lingkungan dan Pembangunan 18 (1). Jakarta.