

PEMETAAN SPASIAL SEBAGAI DASAR ANALISIS KONDISI HEWAN MAKROBENTOS AKIBAT BUANGAN AIR LIMBAH PLTU-PLTGU (STUDI KASUS: PLTU-PLTGU TAMBAK LOROK, SEMARANG)

Badrus Zaman^{*)}, Haryono Setiyo Huboyo^{*)}

ABSTRACT

On the operation of Electric Power Plant at Tambak Lorok Central Java discharged thermal water to harbour pond. One of the effect is to zoomacrobenenthos. Mapping is one of the system to result spatial picture with objective, informatif, and easier to analize. Sampling at 14 points in pond and 2 points for control in outer pond with purposive sampling method. Sampling frequency done by 4 (four) different times with interval time is 7 (seven) days. Then, data input to Surfer Programme (version 7.0) The Result of this research found 7 (seven) classes of zoomacrobenenthos with sequence individual amount are: Bivalvia > Crustacea > Gastropoda > Polychaeta > Stelleroidae > Decapoda > Holothuroidae. Diversity index pattern shown at thermal water discharge channel (at position 437083.8; 9232891) had low out come (<0.6) and then increases with increasing distance from thermal water discharge channel (until >1.1) but in centre harbour pond the value decrease until less than 0.6. At near break water, the value of diversity index gain to 0.85. All condition in harbour pond shown medium until worse pollution criteria. Significant corelation of temperature pattern with diversity index and similarity index just shown at surrounding thermal water discharge channel. This condition not only caused by moment temperature pattern but affected by continue thermal water dlscharged from electric power plant and eventually by other factor such as benthic substrat, current celerity, water depth, water clearly, salinity, pH, Dissolved Oxygen, Nitrogen, and Phospor.

Keywords: *Thermal Pollution, Temperature, Zoomacrobenenthos, Diversity Index, Similarity Index, Mapping*

LATAR BELAKANG

Pada pelaksanaan operasional PLTU-PLTGU di Tambak Lorok Jawa Tengah dihasilkan air limbah panas secara langsung ke badan air akan meningkatkan temperatur sekitarnya. Hal tersebut dapat menyebabkan pengaruh terhadap faktor fisika berupa pengaruh terhadap densitas, viskositas, tekanan uap, dan kelarutannya. Pengaruh terhadap faktor kimia berupa perubahan kesetimbangan kimia, kecepatan reaksi, aktivitas mikroba, timbulnya bau, perubahan rasa, dan penurunan salinitas. Pengaruh terhadap faktor biologi berupa penurunan oksigen terlarut, kegagalan pemijahan, kematian organisme muda, rantai makanan yang terputus, penurunan daya tahan terhadap racun, pemangsa oleh predator yang lebih toleran terhadap perubahan suhu, meningkatnya proses metabolisme sel, dan kompetisi hidup dengan spesies lain yang lebih toleran (Thayib, 1994; Neves dan Laurenco, 1996; Ratterman, 2003;

www.encarta.com, 2004; www.willamette.edu, 2004; www.discoverycube.org, 2004; www.polmar.com, 2004).

Untuk dapat mengevaluasi dan menginterpretasikan kualitas lingkungan disekitar lokasi pembuangan air limbah tersebut secara obyektif dan informatif. Konsekuensinya diperlukan suatu *tool* yang dapat digunakan secara obyektif dalam mengevaluasi dan menginterpretasikan data hasil monitoring penyebaran air limbah dan pengaruhnya terhadap kondisi hewan makrobentos adalah dengan sistem yang mampu menampilkan hasil secara spasial dalam bentuk gambar yang obyektif dan informatif. (Neumann, *et al.*, 2003; Maurer, *et al.* 2000). Program komputer yang dapat digunakan untuk proses tersebut adalah Surfer (Keckler, 1995).

Pencemaran Air Limbah Panas

Pencemaran air limbah panas (*thermal pollution*) adalah masukan dalam

^{*)} Program Studi Teknik Lingkungan FT Undip
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang

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, Anonimous, 2004).

Pengaruh biologi berkaitan dengan karakteristik optimum dalam air yang menjadi dasar sistem ekologi. Misalnya temperatur yang tidak mematikan ikan atau kerang dapat memberikan efek dalam metabolisme, reproduksi atau pertumbuhan seperti berkurangnya organisme makanan yang akan mengganggu sistem keseimbangan karena kompleksnya sistem alami akan menyesatkan untuk mengeneralisir efek temperatur terhadap biota akuatik sehingga lebih tepat untuk mempelajari spesies lokal yang penting.

Temperatur secara langsung memberikan efek fisiologis pada ikan yang hanya berada pada temperatur 0,5-10°C dari temperatur alami dan temperatur eksternal harus sesuai dengan temperatur internal yang diperlukan meskipun individu spesies bervariasi terhadap efek temperatur. Hal ini terjadi karena laju metabolisme naik sejalan dengan kenaikan temperatur sampai batas lethalnya yang bervariasi dan dipengaruhi oleh tingkat oksigen dan salinitas. Penurunan oksigen terlarut dan kenaikan laju metabolisme dapat berkombinasi yang membuat lingkungan kurang sesuai bagi kehidupan ikan.

Perubahan temperatur yang bertahap lebih baik ditoleransi daripada yang mendadak. Perubahan laju tersebut dapat menjadi indikator untuk migrasi pemijahan (*spawning migration*) dan mempengaruhi perkembangan embrio) karena inkubasi telur dan perkembangan masa anak-anak adalah masa kritis dan sensitif terhadap temperatur.

Temperatur air yang lebih hangat menyebabkan organisme perairan mengalami peningkatan laju respirasi dan peningkatan konsumsi oksigen serta lebih mudah terkena penyakit, parasite, dan bahan kimia beracun. Pembuangan air panas ke perairan yang dangkal dekat

pantai juga menyebabkan kegagalan pemijahan (*spawning*) dan membunuh ikan-ikan muda. Ikan dan organisme lain yang mampu beradaptasi pada range temperatur yang lebih besarpun dapat pula mengalami kematian oleh adanya panas yang mendadak (*thermal shock*) (Neves dan Lourenco, 1996; www.Encarta.com, 2004; www.willamette.edu, 2004; www.discoverycube.org, 2004; www.polmar.com, 2004).

Hewan Makrobentos

Laevastu dan Taivo, 1996 menyatakan bahwa ekosistem bentik terdiri dari berbagai tumbuhan dan hewan yang paling banyak menghabiskan hidupnya di atas atau di dalam substrat dasar. Menurut Odum (1971) hewan makrobentos merupakan binatang yang berhabitat di sedimen atau hidup di atas atau di dalam substrat dasar yang lain di air tawar, estuarine, dan ekosistem laut. Sepanjang hidup atau bagian dari daur hidupnya organisme ini dapat membentuk tempat berlindung, lubang, atau jaring sebagai tempat hidupnya. Komunitas hewan makrobentos hidup di permukaan dasar perairan baik yang melekat, merayap, membenamkan diri atau membuat lubang pada dasar perairan. Makroinvertebrata dapat didefinisi dengan kasad mata dan tertahan pada sieve nomor 30 (0.595 mm) (Anonimous, 1995) atau tertahan pada sieve ≥ 200 sampai 500 μm , meskipun tingkat hidup yang lebih awal beberapa spesies makroinvertebrata lebih kecil dari ukuran tersebut (Rosenberg dan Resh, 1992).

Pada dasarnya hewan bentik terbagi menjadi dua yaitu hewan yang hidup di atas permukaan sedimen disebut dengan *epibenthic* atau *epifaunal* dan hewan yang hidup dalam sedimen disebut *infaunal* atau kadang-kadang disebut *sedimentary* (Meadows dan Campbell, 1988).

Kebanyakan predator dasar dan pemakan bangkai merupakan anggota tetap bentos dan kadang dimakan oleh bentik konsumen (Sumich, 1992).

Menurut Nybakken, 1988; Meadows dan Campbell, 1988; Sumich, 1992; Laevastu dan Taivo, 1996, bahwa faktor lingkungan yang mempengaruhi kehidupan hewan makrobentos meliputi faktor fisika dan kimia. Faktor fisika yang berperan adalah substrat dasar, kecepatan arus,

kedalaman, dan temperatur. Adapun faktor-faktor kimia adalah salinitas, derajat keasaman (pH), Oksigen terlarut (DO), Nitrogen dan Fosfor

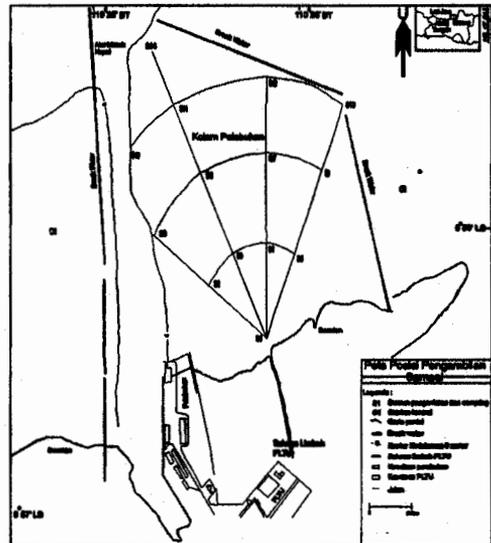
Program Surfer

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. File-file United States Geological Survey Digital Elevation Model (USGS DEM) juga dapat digunakan untuk membuat peta kontur dan permukaan serta untuk berbagai pengoperasian surfer. 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.

METODE PENELITIAN

Sampling dilakukan dengan metode purposif sampling yaitu pengambilan sampel yang tidak didasarkan pada strata, random, atau daerah tetapi berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian yang dimaksudkan. Pengambilan sampel dilakukan dengan survey sample method yang merupakan pengumpulan data yang mencatat sebagian kecil anggota populasi tetapi hasilnya diharapkan dapat dipakai untuk pengambilan kesimpulan secara umum atau general.

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 berikut:



Gambar 1. Peta posisi pengambilan sampel lokasi penelitian

Persamaan yang digunakan dalam penentuan tersebut menurut Rosenberg dan Resh, 1992 adalah:

Indeks keanekaragaman

$$(H') = - \sum_{i=1}^s \ln \frac{n_i}{N} \times \frac{n_i}{N}$$

dimana:

n_i = jumlah individu spesies- i

N = jumlah total individu

s = jumlah jenis

Indeks keseragaman (E) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$E = \frac{H'}{H' \text{ maks}}$$

dimana :

E = Indeks keseragaman

H' = Indeks diversitas

(indeks keanekaragaman)

$H' \text{ maks}$ = Diversitas maksimum

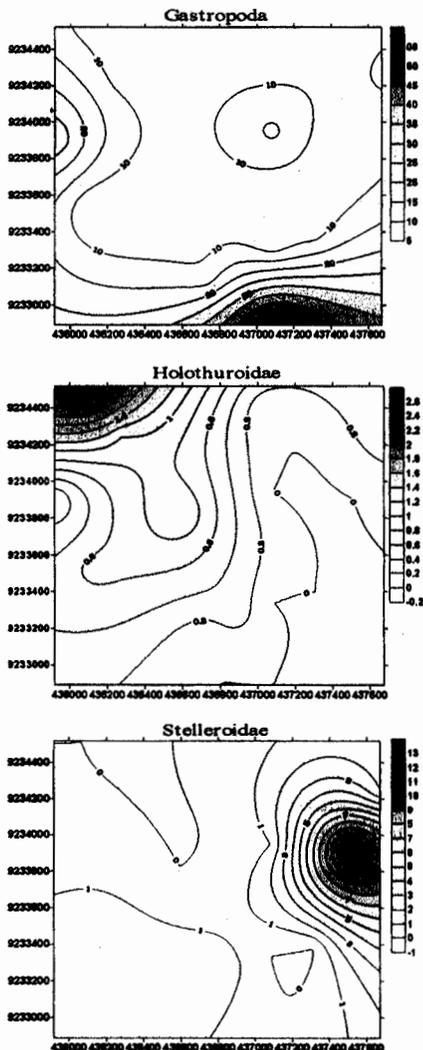
(= $\ln s$) s = Jumlah jenis

Analisa data dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh sebagai input pada program surfer

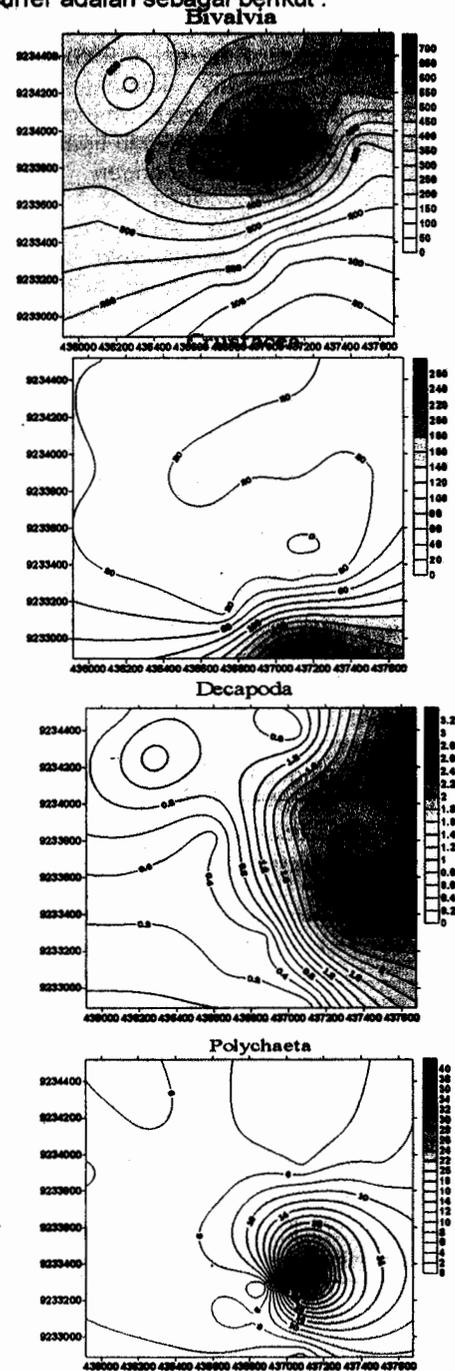
HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Makrobentos

Hasil sampling menemukan 7 (tujuh) kelas hewan dan dari semua stasiun sampling hanya stasiun 1 (satu) (437083.8; 9232891) yang didominasi oleh kelas crustacea (Bernakel atau Teritip atau *Balanus balanoides*) sedangkan stasiun lainnya didominasi kelas bivalvia. Secara umum rata rata jumlah individu pada kolam pelabuhan dari semua stasiun sampling adalah Bivalvia > Crustacea > Gastropoda > Polychaeta > Stelleroidea > Decapoda > Holothuroidea. Jumlah Bivalvia yang relatif melimpah tersebut merupakan suatu hal yang wajar karena bivalvia memang mempunyai kemampuan adaptasi yang cukup tinggi terhadap penurunan kualitas lingkungan dan melimpah di daerah tropis.



Berdasarkan kelas makrobentos yang ditemukan tersebut pola distribusi di dalam kolam pelabuhan (stasiun 1 sampai 14) setelah dilakukan pengolahan dengan surfer adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Pola Distribusi Kelas Bivalvia, Crustacea, Gastropoda, Polychaeta, Stelleroidea, Decapoda, dan Holothuroidae Berdasarkan Jumlah Individu di Kolam Pelabuhan (Sumber: Data Primer, 2004)

Tabel 1. Kriteria Perairan Berdasarkan Nilai Indeks Keaneekaragaman (H')

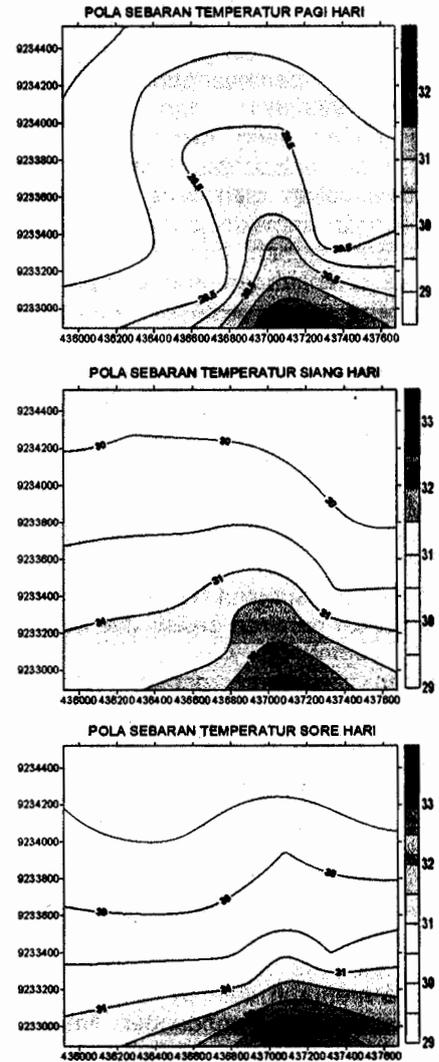
Kriteria Perairan Berdasarkan Nilai H'	
Derajat Pencemaran	H'
Tidak Tercemar	>2.0
Tercemar Ringan	2.0-1.6
Tercemar sedang	1.5-1.0
Tercemar Berat	<1.0

Sumber: Rosenberg dan Resh, 1992

Berdasarkan pola nilai indeks keaneekaragaman dan indeks keseragaman yang terbentuk menunjukkan hal yang hampir sama dimana di sekitar saluran pembuangan mempunyai nilai indeks keaneekaragaman yang rendah (<0,6). Nilai indeks keaneekaragaman naik dengan semakin jauh dari saluran pembuangan tetapi di sebagian kecil tengah kolam pelabuhan kembali menurun di bawah 0,6 dan naik kembali di sekitar break water tetapi hanya berkisar sampai 0,85. Kondisi secara umum berdasarkan kriteria pada tabel 1 menunjukkan telah terjadi sebagian besar area kolam pelabuhan telah terjadi pencemaran berat dan hanya sebagian kecil yang masuk katagori tercemar ringan.

Nilai keseragaman makrobentos di titik saluran pembuangan relatif rendah (<0,5) tetapi kemudian naik dengan cepat dengan semakin jauhnya jarak dari saluran pembuangan tetapi kemudian menurun kembali kemudian pada sekitar breakwater naik kembali meskipun tidak begitu besar hanya sekitar 0,05. Hal ini menunjukkan adanya dominasi spesies disekitar saluran pembuangan limbah. Semakin jauh dari saluran pembuangan dominasinya berkurang tetapi mengalami dominasi kembali di sekitar tengah kolam pelabuhan dan faktor dominasi kembali berkurang di sekitar break water.

Sedangkan pola temperatur yang terjadi akibat adanya pembuangan air limbah dari PLTU-PLTGU pada pagi, siang dan sore hari adalah sebagai berikut :



Gambar 4. Pola Distribusi Temperatur di Kolam Pelabuhan Pada Pagi, Siang dan Sore Hari (Sumber: Data Primer, 2004)

Bila dilihat pola temperatur yang terbentuk dan pola indeks keaneekaragaman dan indeks keseragaman terlihat hubungan yang signifikan hanya terjadi disekitar saluran pembuangan dimana pada temperatur yang relatif tinggi terjadi dominasi dan keaneekaragaman yang rendah. Hal tersebut bukan berarti dengan semakin turunnya temperatur tidak ada pengaruh bagi makrobentos karena berdasarkan nilai indeks keaneekaragamannya menunjukkan telah terjadi pencemaran ringan pada sebagian kecil kolam pelabuhan dan sebagian besar telah terjadi pencemaran berat. Hal ini menunjukkan kemungkinan kondisi yang terjadi bukan hanya disebabkan oleh adanya pola distribusi

temperatur sesaat seperti gambar 4 tetapi sebagai akibat buangan air limbah dari PLTU-PLTGU secara kontinyu dalam jangka waktu lama dimana menurut Sawyer *et al*, 1994; Neves dan Lourenco, 1996 bahwa kebanyakan reaksi berlangsung kehadiran enzim yang sensitif pada temperatur. Pada saat panas mencapai air kenaikan aktifitas organisme menyebabkan BOD akan lebih dekat dengan buangan bahan organik yang *biodegradable*. Pengaruh biologi berkaitan dengan karakteristik optimum dalam air yang menjadi dasar sistem ekologi. Misalnya temperatur yang tidak mematikan ikan atau kerang dapat memberikan efek dalam metabolisme, reproduksi atau pertumbuhan seperti berkurangnya organisme makanan yang akan mengganggu sistem keseimbangan karena kompleknya sistem alami.

Temperatur secara langsung memberikan efek fisiologis pada ikan yang hanya berada pada temperatur 0,5-10°C dari temperatur alami dan temperatur eksternal harus sesuai dengan temperatur internal yang diperlukan meskipun individu spesies bervariasi terhadap efek temperatur. Pembuangan air panas ke perairan yang dangkal dekat pantai juga menyebabkan kegagalan pemijahan (*spawning*) dan membunuh ikan-ikan muda. Ikan dan organisme lain yang mampu beradaptasi pada range temperatur yang lebih besarpun dapat pula mengalami kematian oleh adanya panas yang mendadak (*thermal shock*) (Neves dan Lourenco, 1996; www.Encarta.com, 2004; www.willamette.edu, 2004; www.discoverycube.org, 2004; www.polmar.com, 2004). Selain itu kemungkinan adanya faktor lain yang ikut berperan dalam mempengaruhi kualitas hewan makrobentos yang ada dimana menurut Nybakken, 1988; Meadows dan Campbell, 1988; Sumich, 1992; Laevastu dan Taivo, 1996. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kehidupan makrobentos selain temperatur perairan adalah substrat dasar, kecepatan arus, kedalaman air, kecerahan, salinitas, pH, Oksigen terlarut (DO), nitrogen dan Fosfor.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa di kolam pelabuhan yang menjadi tempat pembuangan limbah dari PLTU-PLTGU telah terjadi pencemaran perairan dari ringan sampai berat.

Hasil pemetaan dengan surfer menunjukkan adanya area distribusi berbagai kelas makrobentos yang ditemukan, sebaran

nilai indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman, dan sebaran temperatur yang terjadi dalam kolam pelabuhan sehingga dapat dilakukan analisa secara langsung berdasarkan hasil spasialnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang tak terhingga kami sampaikan kepada Departemen Pendidikan Nasional dan UNIP yang telah memberikan dana melalui DIK Rutin 2004 dan kepada para mahasiswa yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aninomous, 1995. *Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater*. APHA- Washington
- _____, 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, *Encyclopedia Article*, http://encarta.msn.com/encyclopedia_761572_857_2/Water_Pollution.html
- _____, 2004, *Thermal Pollution*, <http://www.willamette.edu/~ecaruso/thermal.htm>
- _____, 2004, *Water Quality Monitoring Project*, <http://www.discoverycube.org/programs/temperature.htm>
- _____, 2004, *Effect of A Thermal Pollution*, http://www.polmar.Com/pollution/thermique_e.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>
- 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.
- Maurer, D., Robertson, G., Mengel, M., Gerlingeer, T., Lissner, A. 2000. *Use of Statistical Process Control for Coastal Marine Biological Impact Analysis*. J. Aquatic Eco. Health & Manag. Vol 3 (2000). Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/aquech>
- 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
- Nazir, M., 1988, *Metode Penelitian*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Neumann, M.; Liess, M.; Schulz, R. 2003. *An Expert System to Estimate the Pesticide Contamination of Small Stream Using Benthic Macroinvertebrates as Bioindicators, Part 1. The Database of LIMPACT*. J. Eco. Indicators. Vol 2 (2003). Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/ecolind>
- Neves, R dan Lourenco, S., 1996, *Thermal Pollution*. <http://www.Cape.canterbury.ac.Nz/archive/THERMAL/tte1.htm>
- Odum, 1971. *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders Co. Philadelphia.
- Padinha, C; Santos, R.; Brown, M.T. 2000. *Evaluating Environmental Contamination in Ria Formosa (Portugal) Using Stress Indexes of Spartina Maritima*. J. Marine Environmental Research Vol 42(2000). <http://www.elsevier.com/locate/marenv>
- Ratterman, Gretchen, 2003, *The Thermal Pollution of Water*. <http://outreach.ecology.uga.edu/watershed/thermal/htm>.
- Rosenberg, M.D. and Resh, H. V., 1992. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrate*. Chapman & Hall. New York-London.
- Sawyer, C.N; McCarty, P.L.; Parkin, G.F. 1994. *Chemistry for Environmental Engineering*. McGraw-Hill. New York. USA
- Sumich, J.L. 1992. *An Introduction to the Biology of Marine Life*. Wm. C. Brown Publisher. USA
- Tchobanoglous, G dan Burton, F.L., 1991. *Waste Water Engineering: Treatment, 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 Slapkah Kita ?*. Lingkungan dan Pembangunan 18 (1). Jakarta.
- Van Hell, H.C. Reinhold-Duduok dan Den Besten, P.J. 1999. *Relation Between Macroinvertebrate Assemblages in the Rhine-Meuse Delta (The Netherlands) and sediment Quality*. J. Aquatic Ecosystem Health and Manag. Vol. 2 (1999). <http://www.elsevier.com/locate/aquech>
- Yusuf, M. 1994. *Dampak Pencemaran Terhadap Kualitas Lingkungan Perairan dan Struktur Komunitas Makrozoobenthos di Laguna Pulau Tirang Cawang Semarang*. Tesis PPS IPB. Bogor.