

LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN HIBAH BERSAING

Judul penelitian : Metode biomonitoring : Diatomae sebagai bioindikator dalam menentukan tingkat kualitas perairan.

Ketua Peneliti

Nama : Dra. Tri Retnaningsih Soeprbowati, M.App.Sc.
 Jenis kelamin : Wanita
 Pangkat/Gol : Penata /IIC
 NIP : 131 835 920
 Bidang keahlian : Mikroalgae
 Fakultas/Jurusan : MIPA/Biologi,
 Perguruan Tinggi : Universitas Diponegoro Semarang
 Kampus MIPA-UNDIP Tembalang, Semarang.
 Telpon: (024) 474754

Tim peneliti

No.	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan
1.	Drs.Hendarko Sugondo, MS.	Ekologi Perairan	FMIPA, Jurusan Biologi UNDIP
2.	Dr. Drs. I. Boedi Hendarto, M.Sc.	Planktonologi (Diatom)	LPWP-Jepara; F PIK Jurusan Perikanan, UNDIP
3.	Ir. Indro Sumantri, MEng.	Kimia air	FT, Jurusan T.Kimia, UNDIP
4.	Ir. Budianto Toha, M.Sc.	Stratigrafi	FT, Jurusan Geologi, UGM

Pendanaan dan jangka waktu penelitian:

Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 (dua) tahun

Biaya total yang diusulkan : Rp 75.000.000,-
 (tujuh puluh lima juta rupiah)

Biaya yang disetujui tahun 1999/2000 : Rp 40.000.000,-
 (empat puluh juta rupiah)

Mengetahui:
 Kepala MIPA



Musand M.Eng., Ph.D.
 NIP : 0130 877 409

Semarang, 20 Februari 2000
 Ketua Peneliti

Dra. Tri Retnaningsih S., M.App.Sc.
 NIP : 131 835 920



Mengetahui:
 Ketua Lembaga Penelitian

Prof. Dr. Satoto
 NIP : 0130 368 071

RINGKASAN

METODE BIOMONITORING: DIATOMAE SEBAGAI BIOINDIKATOR DALAM MENENTUKAN KUALITAS PERAIRAN. Tri Retnaningsih Soeprbowati¹, Hendarko Sugondo¹, I. Boedi Hendrarto², Indro Sumantri³, Budiyanto Toha⁴ (1999: 36 halaman).

Metode biomonitoring pencemaran perairan berupa kandungan faecal coli, dan indeks keanekaan dan perataan dari benthos dan plankton yang selama ini dipergunakan sebenarnya mempunyai beberapa kelemahan. *Escherichia coli* hanya mengindikasikan pencemaran yang disebabkan oleh faecal coli, benthos tidak dapat hidup pada sembarang substrat, sedangkan fitoplankton hidupnya mengapung sehingga populasinya sangat dipengaruhi oleh arus. Untuk itu perlu dikaji metode baru yang lebih mampu merekam kondisi perairan setempat. Diatom epipelik memiliki karakteristik yang potensial untuk dijadikan bioindikator pencemaran karena mengakumulasi komponen fisik-kimia perairan dan mampu menampakkan respon terhadap lingkungan tempat hidupnya dalam waktu yang relatif singkat. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mencari alternatif baru untuk menghasilkan metode biomonitoring (berupa species-species indeks dari diatom) yang lebih signifikan, efektif dan efisien dalam monitoring perairan dengan mempelajari karakteristik diatom pada substrat sedimen dalam perubahan waktu di perairan yang tercemar dan yang relatif belum tercemar.

Untuk itu maka dilakukan pengambilan sampel pada tujuh sungai di daerah PANTURA Jawa Tengah, meliputi Sungai Karanggeneng - Rembang, Juana - Pati, Banjir Kanal Timur - Semarang, Banjir Kanal Barat - Semarang, Banger - Pekalongan, Pekalongan - Pekalongan dan Gung - Tegal. Sampel sedimen diambil dengan menggunakan core barrel yang sudah dimodifikasi dengan pralon pada ketujuh sungai tersebut setebal 20 cm. Pengukuran parameter temperatur, DO, pH, salinitas dan turbiditas dilakukan secara *in-situ* pada saat pengambilan sampel. Analisis sampel air dan sedimen meliputi total nitrogen dan fosfor tersedia, silika, Cu, Cr dan Cd. Ekstraksi, preparasi dan

identifikasi diatom dilakukan berdasarkan metode Wetzel & Likens (1991) dan Round (1993).

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan paket program PRIMER versi 4.0 yang dikeluarkan oleh Plymouth Marine Laboratory, United Kingdom (Carr, 1997). Analisis Cluster dilakukan untuk mendapatkan peta pengelompokan dan analisis SIMPER dilakukan untuk menentukan diatom yang paling berperan dalam pembentukan kelompok (Clarke & Warwick, 1994).

Tujuh sungai yang dijadikan lokasi penelitian dapat dibagi dalam 3 kelompok berdasarkan sifat fisik kimia air, sedimen dan komunitas diatom: Kelompok I terdiri dari Sungai Karanggeneng dan Juana, Kelompok II tersusun oleh Sungai Banjir Kanal Barat dan Timur dan Kelompok III tersusun oleh Sungai Gung, Banger, Pekalongan dan Banjir Kanal Timur*. Berdasarkan kualitas air, sedimen dan komunitas diatomae, maka ditetapkan 3 kategori kualitas air. Kategori Tingkat I: tidak tercemar – tercemar ringan, dicirikan oleh *Cyclotella meneghiniana* dan *Gomphonema lanceolatum*. Kategori Tingkat II: pencemaran sedang, dicirikan oleh *Pinnularia gibba*, *Nitzschia sigmaidea*, *N. recta* dan *Sellaphora bacillum*. Kategori Tingkat III: tercemar berat, dicirikan oleh *Fragillaria virescens*, *F. cappucina*, *G. ventricosum*, *N. palea* dan *Synedra ulna*. Spesies-spesies tersebut diatas diperkenalkan sebagai spesies indeks diatomae.

1. Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Diponegoro Semarang
2. Jurusan Perikanan, F Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro Semarang
3. Jurusan Teknik Kimia, FT Universitas Diponegoro Semarang
4. Jurusan Geologi, FT Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

SUMMARY

BIOMONITORING METHOD: DIATOM AS BIOINDICATOR OF WATER QUALITY. Tri Retnaningsih Soeprobowati¹, Hendarko Sugondo¹, I. Boedi Hendrarto², Indro Sumantri³, Budiyanto Toha⁴ (1999: 36 pages).

Biomonitoring methods for water quality, such as coli form content, diversity and evenness indices of macrobenthic invertebrates and plankton which are used, actually have some weaknesses. *Escherichia coli* only indicated pollution caused by faecal coli; macrobenthic invertebrates have not ability to live in all substratum, whereas the population of phytoplankton are affected by current as they are floating in the surface water. Therefore, the method which are more effective have to be developed. Epipellic diatoms have potential characteristics as bioindicator of water quality because have ability to accumulate physico-chemical component of aquatic ecosystem and respond it immediately.

This research is conducted in order to find out a new alternative of biomonitoring method (: species indices of diatoms) which are more significant, effective and efficient. The objectives of this research in the first year are to find out variability diatoms in variability environment, determine physico-chemical parameters which support diatom abundance, determine water quality map based on diatoms and determines the species which responsible to the grouping.

Sediment samples were taken from 7 rivers in the Northern Coast of Central Java (called PANTURA): Karanggeneng-Rembang, Juana-Pati, Banjir Kanal Timur-Semarang, Banjir Kanal Barat-Semarang, Banger-Pekalongan, Pekalongan-Pekalongan and Gung-Tegal. Temperature, dissolved oxygen, salinity, pH and turbidity were measure *in-situ*. Analysis of water and sediment samples include total nitrogen, total phosphorous, silica, heavy metals of Cu, Cr and Cd. Extraction, preparation and identification of diatoms were followed Wetzel & Likens (1991) and Round (1993). The data were then analysed using PRIMER package programme version 4.0 which is produced by Plymouth

Marine Laboratory, United Kingdom (Carr, 1997). The analysis of Cluster was done to make grouping and SIMPER to determine responsible species (Clarke & Warwick, 1994).

Based on water, sediment quality and diatom community, 7 rivers in PANTURA could be divided into 3 groups: Group I, consisted of Karanggeneng and Juana Rivers, Group II of Banjir Kanal Barat and Banjir Kanal Timur Rivers and Group III of Gung, Banger, Pekalongan and Banjir Kanal Timur * Rivers. Based on the water and sediment qualities, as well as diatoms community, there are 3 categories of water quality. First Category: unpolluted-light polluted, dominated by *Cyclotella meneghiniana* and *Gomphonema lanceolatum*. Second Category : midle polluted, dominated by *Pinnularia gibba*, *Nitzschia sigmaidea*, *N. recta* and *Sellaphora bacillum*. Third Category: heavily polluted, dominated by *Fragillaria virescens*, *F. cappucina*, *G. ventricosum*, *N. palea* and *Synedra ulna*. Those species are promoted as diatoms index species.

1. Dept. Biology, Faculty of Mathematic and natural Sciences, Diponegoro University, Semarang
2. Dept. Fisheries, Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Diponegoro University, Semarang
3. Dept. Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Diponegoro University, Semarang
4. Dept. Geology, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University, Yogyakarta

Had been funding by Research of Applied Sciences Project with the contract number of 017/P2/IPT/HB/VI/1999 Directorate of Research and Public Service Creation, Directorate General of Higher Education, Department of Education and Culture.

KATA PENGANTAR

Salah satu kegiatan monitoring kualitas perairan dilakukan dengan menggunakan organisme, untuk mendeteksi efek sinergisme dari bahan pencemar yang tidak terdeteksi secara kimiawi. Laporan ini menyuguhkan satu alternatif baru dalam kegiatan biomonitoring yaitu pemanfaatan diatom (epipelik) sebagai bioindikator kualitas perairan.

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada BAPPENAS yang telah mendanai penelitian ini melalui Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Hibah Bersaing; Nomor : 017/P2/IPT/HB/VI/1999, Tanggal 1 April 1999. Dengan bantuan dana tersebut, maka penelitian ini dilaksanakan di 7 sungai di daerah pantai utara (PANTURA) Jawa Tengah, mengingat adanya indikasi semakin menurunnya kualitas air sungai yang pada gilirannya sangat menentukan kesehatan warga Jawa Tengah. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Dr. Jason Sonneman dari Water Research Centre, Monash University, Australia, atas bantuannya berupa buku, jurnal dan informasi sehingga lebih memperkaya kajian ini.

Semoga laporan ini dapat memberikan satu alternatif baru dalam kegiatan monitoring kualitas perairan, meskipun kajian-kajian yang lebih mendalam masih sangat diperlukan.

Semarang, 20 Februari 2000

Ketua tim peneliti,

Dra. Tri Retnaningsih Soeprbowati, M.App.Sc.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN.....	iii
SUMMARY	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
I. PENDAHULUAN	1
II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE 2	5
III. TINJAUAN PUSTAKA	
3.1. Karakteristik diatomae	6
3.2. Habitat diatomae	8
3.3. Faktor lingkungan yang mempengaruhi diatomae	9
3.4. Pemanfaatan Diatomae	15
3.5. Diatomae sebagai bioindikator	16
IV. METODE PENELITIAN	19
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. HASIL	23
B. PEMBAHASAN	44
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. KESIMPULAN	47
B. SARAN	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR/ILUSTRASI

		halaman
Gambar 1.	Peta lokasi pengambilan sampel di 7 sungai di - PANTURA Jawa Tengah	18
Gambar 2.	Kualitas air tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah.....	24
Gambar 3.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa - Tengah berdasarkan kualitas air	25
Gambar 4.	Kualitas sedimen tujuh sungai di PANTURA Jawa - Tengah	26
Gambar 5.	Kualitas sedimen tujuh sungai di PANTURA Jawa - Tengah	26
Gambar 6.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kualitas sedimen di lapisan atas	28
Gambar 7.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kualitas sedimen di lapisan bawah ...	29
Gambar 8.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kualitas sedimen	30
Gambar 9.	Variasi total individu pada tiap perlapisan sedimen	33
Gambar 10.	Variasi total spesies pada tiap perlapisan sedimen	33
Gambar 11.	Variasi indeks keanekaragaman Richness R , Shanon- Wiener (H') dan Evenness (e) pada tiap perlapisan sedimen	33
Gambar 12.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kemelimpahan relatif diatomae, pada Lapisan atas sedimen	34
Gambar 13.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kemelimpahan relatif diatomae, pada Lapisan bawah sedimen	35
Gambar 14.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kemelimpahan relatif diatomae, pada semua lapisan sedimen, April 1998.....	36
Gambar 15.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kemelimpahan relatif diatomae, pada semua lapisan sedimen, Agustus 1998.....	37
Gambar 16.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kemelimpahan relatif diatomae, pada semua lapisan sedimen/waktu	40
Gambar 17.	Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa – Tengah berdasarkan kehadiran diatomae, pada semua perlapisan sedimen/waktu	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Korelasi antara kualitas air dengan populasi diatomae	39
Tabel 2. Korelasi antara kualitas sedimen dengan populasi diatomae ..	43
Tabel 3. Kategorisasi suatu perairan berdasarkan spesies dominan Diatomae	46

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Similarity percentage sedimen atas, data kemelimpahan relatif diatomae	54
Lampiran 2. Similarity percentage sedimen atas, data Kehadiran spesies diatomae	55
Lampiran 3. Similarity percentage sedimen bawah, data kemelimpahan relatif diatomae	56
Lampiran 4. Similarity percentage sedimen bawah, data Kehadiran spesies diatomae	57
Lampiran 5. Similarity percentage sedimen atas, data gabungan kemelimpahan relatif diatomae	58
Lampiran 6. Similarity percentage sedimen atas, data gabungan Kehadiran spesies diatomae	59

I. PENDAHULUAN

Problem global dalam permasalahan lingkungan meliputi penurunan kualitas air, hilangnya habitat, erosi, berkurangnya sumber energi, tidak adanya arus sungai, dan adanya spesies pendatang. Semua problem tadi mempengaruhi integritas biotik. Pada masa lampau, pengelolaan kualitas air hanya difokuskan pada perlindungan kualitas air untuk penyediaan air minum, tanpa dikaitkan dengan daerah tangkapan sungai tersebut, serta tanpa didasari ilmu yang kuat.

Untuk menanggulangi permasalahan lingkungan tadi, sekarang ini, haruslah dimulai dengan pendekatan ekosistem yang harus difokuskan pada pemahaman ilmiah, pengidentifikasian masalah dengan target perlindungan ekosistem, mempertimbangkan daerah tangkapan sungai serta pengelolaan yang berlandaskan pada prediksi resiko yang bakal muncul (Hart, *et al.*, 1998).

Program kali bersih (PROKASIH) telah dimulai pada tahun 1989 yang merupakan bagian dari didirikannya BAPEDAL pada tahun 1990. PROKASIH merupakan program nasional untuk mengontrol pencemaran air dan telah sukses dalam menurunkan kualitas limbah industri yang dialirkan ke sungai (ANONIM, 1994). Akan tetapi usaha harus dilakukan terhadap sumber pencemaran yang diffuse dan pengembangan metode monitoring kualitas air (Trihadiningrum *et al.*, 1997).

Monitoring bisa dilakukan dengan menggunakan indikator, yang akan berubah bila lingkungan berubah. Indikator tradisional dari kualitas air adalah parameter fisika-kimia dari kolom air, seperti turbiditas, pH, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), kandungan nutrisi (bahan organik) dan logam berat. Akan tetapi polutan sering bersifat synergism, efek-efeknya akan terakumulasi pada sistem biologi. Polutan yang potensial akan mempengaruhi proses biologi dibawah level yang terdeteksi oleh analisis kimia, sehingga analisis kimia tidak dapat dipergunakan untuk menentukan efek biologis dari toksikan (Root, 1990). Selanjutnya, parameter fisika seperti pH dan temperatur hanya mempunyai dampak yang nyata pada toksisitas (Cairns & van

der Schalie, 1980) dan angka yang muncul pada indikator fisik-kimia tergantung pada waktu dan lokasi pengambilan sampel (Horowitz, 1990). Oleh karena hal-hal tersebut diatas maka indikator biologi harus dipergunakan karena monitoring fisika dan kimia suatu perairan hanya menyediakan informasi yang terbatas mengenai *kualitas air* pada suatu masa, sedangkan biomonitoring lebih mengekspresikan *kesehatan* suatu perairan untuk masa yang relatif panjang. Kesehatan perairan yang dimaksud disini adalah dalam konteks ekologi dalam arti kestabilan ekosistem yaitu mempunyai keanekaragaman jenis tinggi dan tidak ada dominansi oleh suatu species.

Bioindikator mempunyai banyak kelebihan dibandingkan indikator fisik-kimia karena menampakkan secara langsung dampak pencemaran atau lingkungan yang tercemar dan merefleksikan efek-efek yang terakumulasi. Namun demikian sampai saat ini biomonitor-biomonitor yang digunakan, dalam hal ini hewan makrobenthos, plankton dan *Escherichia coli* (Peraturan Pemerintah Nomer 20 Tahun 1990 tentang Baku Mutu Lingkungan) mempunyai banyak kelemahan. Penggunaan hewan makrobenthos sebagai bioindikator mempunyai kelemahan, karena organisme tersebut tidak dapat hidup pada sembarang substrat (Nybakken, 1988; Astuti *et al.*, 1990). Plankton kurang tepat digunakan untuk monitoring karena hidupnya mengapung, sehingga keberadaannya sangat dipengaruhi oleh arus (Reynolds, 1990; Soeprbowati *et al.*, 1994; Soeprbowati, 1996). Sedangkan indeks keanekaragaman dari komunitas tersebut merefleksikan perubahan didalam struktur ekosistem hanya selama periode stress, tetapi tidak bisa membedakan komunitas yang stress (tercemar) dan yang sehat (Ramade, 1995). Dominansi suatu jenis plankton juga akan menurunkan nilai indeks keanekaragaman jenis (Soeprbowati *et al.*, 1993; 1994). *Escherichia coli* hanya mengekspresikan konsentrasi faecal coli didalam perairan (Suryawirna, 1991). Kelemahan-kelemahan tersebut menyebabkan kegiatan biomonitoring menjadi tidak efisien dan efektif lagi sehingga diperlukan metode yang lebih signifikan.

Untuk memulai memecahkan permasalahan lingkungan, penelitian mengenai bioindikator merupakan tantangan yang menarik semenjak analisis fisiko-kimia terasa sangat mahal, terutama di era krisis ekonomi saat ini.

Namun, di Indonesia, perkembangan penelitian tentang bioindikator masih bersifat sporadis, bahkan tidak berkelanjutan dan tanpa tujuan yang jelas (Tanjung & Tanjung, 1997).

Atas dasar permasalahan diatas, maka dengan ini diusulkan metode monitoring dengan menggunakan diatomae epipelik (menempel pada substrat sedimen), baik secara individu maupun komunitas, yang berperan sebagai bioindikator. Pemilihan diatomae sebagai bioindikator sangat efektif dan ekonomis karena mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan organisme lain, antara lain: mempunyai distribusi yang luas dengan populasi yang bervariasi, mempunyai peranan yang penting di dalam rantai makanan, siklus hidup pendek, cepat bereproduksi, dijumpai hampir di semua substrat sehingga mampu merekam sejarah habitatnya, banyak dari speciesnya yang sensitif terhadap perubahan lingkungan sehingga cepat meresponnya dan mampu merefleksikan perubahan-perubahan kualitas air baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, mudah dalam pengambilan sampel, analisis dan identifikasinya (Prygiel & Coste, 1993; Round, 1993; van Dam & Mertens, 1993; Patrick, 1994; John, 1996; Lowe & Pan, 1996; Stevenson *et al.*, 1996; Soeprbowati *et al.*, 1998a).

Diatomae mampu memonitor perubahan lingkungan secara kontinyu sebagai respon mereka terhadap perubahan kualitas perairan karena mereka mengintegrasikan efek sifat fisik dan kimia perairan dalam waktu yang relatif singkat. Dengan demikian kelemahan metode biomonitoring dalam Standar Baku Mutu Lingkungan yang selama ini dipergunakan dapat dieliminir untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, cepat dan murah. Untuk itu, maka penelitian ini dilaksanakan di tujuh sungai di daerah pantai utara (PANTURA) Jawa Tengah yaitu sungai Gung -Tegal, Pekalongan dan Banger - Pekalongan, Banjir Kanal Barat dan Timur - Semarang, Juana - Pati dan Karanggeneng – Rembang untuk mengkaji lebih jauh potensi diatomae sebagai salah satu metode biomonitoring yang lebih signifikan, efisien dan efektif berupa species-species indeks dari diatomae yang berasal dan untuk dipergunakan di Indonesia.

Daerah-daerah di kawasan Pantai Utara Jawa Tengah mengalami pengembangan industri yang demikian pesat, terutama sejak dekade 80 an. Potensi industri di daerah Kotamadya Tegal cukup besar, baik dilihat dari jenis maupun jumlahnya. Jenis industri yang ada antara lain industri pangan, sandang, kulit, pengecoran dan pelapisan logam yang semuanya membuang limbahnya ke Sungai Gung. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan Bappeda Tingkat I Jawa Tengah dengan Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Semarang menunjukkan bahwa umumnya sungai-sungai di daerah Kotamadya dan Kabupaten Tegal telah mengalami pencemaran zat organik maupun logam berat, dari tingkat tercemar ringan sampai sedang (Anonim, 1988). Kotamadya Pekalongan dialiri beberapa sungai yang cukup besar, diantaranya adalah Sungai Pekalongan dan Banger yang menerima buangan limbah terutama dari industri tekstil, pakaian jadi dan batik. Kotamadya Semarang, dengan luas wilayah 37.333,83 ha dan tanah aluvial dilewati oleh Sungai Banjir Kanal Barat dan Timur yang banyak menerima limbah logam berat dari pabrik farmasi, tekstil dan limbah domestik/kota. Sungai Juana di Kecamatan Juana Kabupaten Pati yang relatif besar dan Sungai Karanggeneng Rembang dipilih sebagai lokasi penelitian yang diharapkan bisa merupakan lokasi yang lebih pristin sehingga bisa digunakan sebagai lokasi referen. Kalaupun ada sumber pencemaran yang masuk di kedua sungai tersebut sebagian besar adalah limbah perikanan dan pertanian.

Pembangunan pertanian, pemukiman dan perindustrian yang meningkat dengan pesat seperti digambarkan di atas, akan sampai pada batas dimana limbah yang dihasilkan tidak sebanding dengan kemampuan alam untuk menetralkan atau menyerapnya. Hal ini menyebabkan bahaya pencemaran lingkungan, khususnya pada lingkungan perairan seperti problem eutrofikasi, salinisasi, acidifikasi dan pencemaran oleh logam berat yang semakin gawat. Oleh karena itu, monitoring terhadap perubahan-perubahan lingkungan harus dilaksanakan untuk mencegah bahaya kelangsungan hidup berbagai organisme perairan yang secara langsung maupun tidak langsung sangat berperan dalam menentukan kesehatan masyarakat.

II. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN TAHUN KE II

Laju perubahan kualitas perairan dalam waktu dan jenis polutan yang berbeda yang terekam dalam sedimen dapat dijelaskan oleh perbedaan kumpulan diatomae pada tiap lapisannya. Dengan mempelajari karakteristik kumpulan diatomae, akan diperoleh species-species indeks yang dapat dipergunakan dalam menentukan tingkat kualitas suatu perairan, untuk memperbaiki/menggantikan beberapa kelemahan metode biomonitoring yang selama ini digunakan. Dengan demikian akan dimiliki metode biomonitoring kualitas perairan yang berasal dari Indonesia dan tentunya akan lebih tepat untuk diterapkan di Indonesia. Secara lebih terinci, tujuan khusus dari penelitian di tahun ke II ini adalah untuk:

1. Menentukan variabilitas diatomae tujuh sungai di Pantai Utara Jawa Tengah pada lapisan sampel sedimen yang berbeda
2. Menentukan sifat fisik-kimia lingkungan yang mendukung kelimpahan diatomae
3. Menentukan tingkat kualitas air 7 sungai di PANTURA Jawa Tengah dengan membuat peta pemetaannya
4. Menentukan jenis-jenis diatomae yang berpotensi sebagai bioindikator kualitas air

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah digunakannya diatomae sebagai salah satu "alat" dalam kegiatan monitoring kualitas perairan karena lebih efektif, efisien dan murah dibandingkan dengan monitoring secara kimiawi.

III. TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Karakteristik Diatomae

Diatomae (Bacillariophyta) adalah algae uniseluler yang mikroskopis, baik bersel tunggal atau berupa koloni yang berukuran 10 sampai 200 mikron. Diatomae dapat dengan jelas dibedakan dengan algae yang lain karena dinding selnya yang tersusun dari silika. Variasi bentuk dan ornamentasi yang bagus dari dinding sel ini menyebabkan studi tentang diatomae lebih banyak diminati. Dinding sel itu pula yang menyebabkan sekarang ini diatomae digunakan sebagai "alat" yang disukai dalam kajian ekologi modern dan evolusi, sebab fosil diatomae sering tersimpan dengan baik di danau maupun laut (Canter-Lund & Lund, 1995).

Di dalam sel diatomae terdapat satu sampai banyak kromatofora yang berwarna kekuningan sampai kecoklatan dengan bentuk yang bermacam-macam, mempunyai klorofil a, klorofil c, β karoten, α karoten dan beberapa xanthofil yang kebanyakan hanya dijumpai pada diatomae. Reproduksi biasanya dilakukan dengan pembelahan sel dari 1 sel menjadi 2 sel anakan yang ukurannya berbeda, sehingga akhirnya terbentuk sel muda tertentu (auxospora) yang ukurannya lebih besar dari sel-sel yang menghasilkannya. Auxospora mempunyai sifat zigot dan dibentuk karena adanya persatuan gamet-gamet (autogami) (Bold & Wynne, 1985).

Dinding sel diatomae menjadi pusat perhatian para ahli taksonomi karena struktur dan ornamentasi pada dinding tersebut. Dinding (maupun bersama isinya) disebut **frustula**. Dinding terdiri atas 2 bagian, yaitu katup atas yang menangkupi katup bawah seperti cawan petri. Dinding bagian atas (tutup) disebut **epitheca** dan bagian bawah disebut **hypotheca** (Bold & Wynne, 1985; Canter-Lund & Lund, 1995). Kedua bagian tersebut disatukan oleh rusuk (**girdle**) pada bagian yang saling tumpang tindih, sebagian menempel pada bagian atas dan sebagian lagi pada bagian bawah. Bagian silikat dari keduanya tersusun oleh katup yang tepi sisinya melekat pada

suatu pita penghubung (**cingulum**) yang biasanya erat bersatu dengan katup (**valva**). Beberapa diatomae mempunyai pita penghubung tambahan yang disebut pita interkalar (**cingulum interkalar**) yang tersisip diantara epitheca dan hypotheca. Apabila dilakukan pengamatan dengan mikroskop, maka seluruh individu diatomae dapat terlihat pada sisi katup/valva atau **girdle** (rusuk) atau keduanya. Bila sel terlihat dari atas atau bawah berarti terlihat sebagai pandangan katup, sedangkan dari sisi samping sebagai pandangan rusuk.

Diatomae dapat hidup sendiri atau berkoloni. Pada beberapa jenis, koloni ini menyerupai filamen, setiap sel pada setiap rantai secara keseluruhan merupakan satu kesatuan, sehingga diatomae adalah organisme uniseluler.

Klasifikasi diatomae didasarkan atas struktur dan ornamentasi dari frustulanya (Canter-Lund & Lund, 1995). Diatomae dibagi menjadi 2 kelompok berdasarkan simetrinya: (1) yang mempunyai simetri bilateral dengan adanya suatu garis sumbu ataupun yang asimetris disebut kelompok mencerutu atau **Pennales** dan (2) yang bersimetri radial, yang berpusat pada satu titik disebut kelompok membola atau **Centrales** (Bold & Wynne, 1985).

Kelompok Centrales umumnya mempunyai gambaran yang kasar, bentuk bulat, silindris atau segitiga dan kebanyakan bersifat planktonik. Sebagai contoh *Cyclotella* dapat bersifat plankton tetapi sering juga sebagai benthos. Kebanyakan diatomae membola yang berbentuk koloni di perairan tawar, berbentuk filamen yang kuat, beberapa diantaranya, seperti *Ellerkeckia* (sebelumnya dikenal sebagai *Melosira*).

Kelompok Pennales tertentu mempunyai garis-garis yang demikian halus, yang hanya dapat dilihat dibawah mikroskop yang baik, pada umumnya mempunyai bentuk sel memanjang dan kebanyakan bersifat benthic (Webber & Thurman, 1991; Sumich, 1992). Bidang sumbu Pennales dapat berupa struktur yang homogen atau dapat berlubang-lubang kecil, yang merupakan parit yang membujur, yang disebut **raphe**, yang menyebabkan diatomae mempunyai kemampuan bergerak dan

berpindah tempat dibantu oleh lapisan mucilaginous yang disekresi frsutulanya (Sze, 1993). Pada umumnya gerakan diatomae terbatas pada sedimen yang dangkal atau pada permukaan tumbuhan tempatnya melekat. Bidang sumbu yang tidak mempunyai parit yang memanjang disebut pseudoraphe. Diantara kedua ujungnya terputus oleh penebalan tengah (**central nodule**) dan/atau pada kedua ujungnya (**polar nodule**).

3.2. Habitat Diatomae

Diatomae hidup pada berbagai macam lingkungan, kebanyakan dijumpai melimpah di laut, rawa, danau, bendungan dan sungai baik dengan cara menempel pada substrat atau bersifat planktonik (Bold & Wynne, 1985). Kebanyakan yang hidup di air tawar bersifat sessil atau mengapung bebas. Beberapa yang hidup di laut tumbuh terikat pada batu karang atau hidup secara epifit pada algae merah dan coklat, terutama di daerah pasang surut (Soeprbowati, *et al.*, 1993). Banyak spesies diatomae planktonik yang hidup di laut sangat peka terhadap perubahan suhu dan salinitas air, sehingga dengan mengetahui jenis-jenisnya, maka dapat diikuti arah dari arus laut (Bold & Wyne, 1985). Diatomae membutuhkan cahaya untuk fotosintesis, oleh karena itu penetrasi cahaya matahari membatasi kedalaman yang dapat ditolerir (Holland & Clark, 1989).

Diatomae di jumpai di lingkungan perairan dalam 2 sifat hidup: yang melayang-layang di perairan dikenal hidup sebagai plankton dan yang hidup melekat pada substrat dan dikenal hidup sebagai benthos. Diatomae benthos merupakan organisme yang istirahat atau bergerak pada dasar perairan atau tumbuh dan bersembunyi di sedimen yang ada di zona eufotik. Diatomae benthik bisa dipisah-pisahkan lagi dalam 5 kategori berdasarkan tipe substratnya:

1. diatomae epifitik, yang hidup melekat pada tanaman
2. diatomae epilitik, yang melekat pada substrat yang keras atau batu
3. diatomae epizoik, yang menempel pada permukaan tubuh hewan
4. diatomae epipsammik, yang hidup pada pasir

5. diatomae epipelik, yang hidup pada atau dalam lumpur yang mudah untuk dipenetrasi. (Bold & Wynne, 1985; Round, 1987). Jenis-jenis yang sering dijumpai pada habitat ini adalah: *Caloneis*, *Diploneis*, *Fragillaria*, *Frustulia*, *Gyrosigma*, *Cymatopleura*, *Navicula*, *Neidium*, *Pinnularia*, *Nitzschia*, *Stauroneis* dan *Surirella*. Jenis-jenis tersebut memanfaatkan material organik dari sedimen (Patrick, 1977). Beberapa jenis lainnya yang umumnya mendominasi di habitat ini adalah: *Diatoma vulgare*, *Diatoma hiemale*, *Achnanthes*, *Cocconeis*, *Meridon circulare*, *Synedra*, dan beberapa jenis dari *Gomphonema* dan *Cymbella* (Reynolds, 1993).

3.3. Faktor-Faktor Lingkungan Yang Mempengaruhi Diatomae

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap komunitas diatomae dibedakan menjadi faktor fisik, kimia dan biologi. Faktor fisik, seperti temperatur dan penetrasi cahaya berpengaruh pada permulaan pertumbuhan diatomae, diikuti oleh faktor kimia meliputi unsur-unsur hara terutama fosfor, nitrogen dan silikon pada pertumbuhan selanjutnya. Kompetisi, perumputan (**grazing**) dan parasitisme oleh jamur adalah faktor biologi yang mempengaruhi komunitas diatomae.

3.3.1. Temperatur

Kenaikan temperatur akan menurunkan oksigen terlarut yang pada gilirannya akan mempengaruhi respirasi dan hal ini bisa merupakan faktor pembatas pertumbuhan. Efek tak langsung dari temperatur terhadap diatomae dapat terlihat pada stratifikasi thermal dari massa air. Stabilitas kolom air mempengaruhi perbedaan musiman komposisi spesies algae. Reynolds *et al.* (1983) dan Sommer (1985) menemukan bahwa diatomae akan dominan ketika kedalaman percampuran (**mixing depth**) bertambah dan hal ini berkaitan dengan pembebasan silikat terlarut dari lapisan air yang lebih dalam.

Beberapa diatomae mampu hidup pada temperatur yang tinggi, tetapi kebanyakan hidup pada temperatur di bawah 30 °C. *Nitzschia palea* mempunyai laju fotosintesis yang maksimum pada temperatur 33°C, dan menurun pada 40°C (Baker, 1955, dalam Patrick, 1977), sedangkan *Nitzschia linearis* akan terhambat pertumbuhannya pada temperatur 30°C dan *Nitzschia filiformis* pada 34°C (Wallace, 1955 dalam Reynold, 1993). *Gomphonema parvulum* mampu tumbuh dengan baik pada kisaran 34 °C, tetapi pembelahan sel tidak dapat terjadi pada temperatur 20°C. *Melosira islandica* tumbuh dengan baik pada temperatur di atas 5°C (Patrick, 1987).

3.3.2. Intensitas cahaya

Intensitas cahaya mempengaruhi daya hidup dan dominansi algae dalam kondisi yang berbeda (Seip, 1991). Banyaknya cahaya yang mencapai sel diatomae ditentukan oleh panjang hari, intensitas permukaan dan kecerahan air yang sebenarnya dipengaruhi oleh densitas algae itu sendiri (Tilzer, 1983). Sebagai contoh *Stephanodiscus astrea* dan *Fragillaria crotonensis* membutuhkan intensitas cahaya sebesar 13 J/cm²/hari (Sommer, 1985).

Pertumbuhan diatomae sangat dipengaruhi oleh besarnya penetrasi cahaya yang tergantung pada jenisnya (Reynolds, 1993). *Melosira roseana*, *Campylodiscus* dan *Surirella* mampu hidup pada intensitas cahaya rendah (Koorders, 1901 dalam Patrick, 1977).

3.3.3. Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses tenggelamnya sel yang disebabkan oleh lingkungan yang stress (Harper, 1992). Diatomae dieleminasi oleh sedimentasi karena protoplas diatomae mempunyai densitas yang hampir sama dengan air, tetapi dinding selnya mempunyai densitas 2 atau 3 kali lebih besar, sehingga membuat diatomae cenderung untuk tenggelam dengan kecepatan 1m/hari. Tetapi dalam lingkungan yang kekurangan nutrient akibat banyaknya phytoplankton

di dekat permukaan, akan menguntungkan bagi diatomae karena laju ketenggelaman mereka. Diatomae merupakan ciri dari perairan dimana pencampuran oleh angin ("wind-driven mixing") sering terjadi (Mann, 1993).

3.3.4. Unsur-unsur hara

Organisme hidup membutuhkan sekitar 40 unsur hara esensial (unsur-unsur makro dan mikro) untuk mendukung pertumbuhan dan reproduksinya. Carbon, oksigen dan hidrogen biasanya dipisahkan dari yang lainnya karena ketiga unsur ini penting di dalam proses fotosintesis (Harper, 1992). Unsur makro dibutuhkan dalam jumlah yang besar, meliputi: calcium, magnesium, potassium, nitrogen, phosphorus, sulfur dan zat besi. Sedangkan unsur mikro dibutuhkan dalam jumlah yang sangat sedikit, meliputi copper, cobalt, molybdenum, manganese, zinc, boron, vanadium dan vitamin (Reynolds, 1990; Moss, 1991; Harper, 1992).

Ratio total nitrogen (TN) terhadap total phosphorus (TP) mempengaruhi status trophic perairan. Perairan **oligotrophic** mempunyai ratio TN:TP yang tinggi, sedangkan perairan **eutrophic** mempunyai ratio TN:TP yang sangat rendah, yang umumnya mengindikasikan pencemaran yang berasal dari limbah kota/rumah tangga (Downing & McCauley, 1992).

Silika

Silisifikasi dinding sel diatomae dipengaruhi oleh banyaknya kandungan silikon di dalam air sebagai **soluble reactive silicon (SRS)**: SiOH_4 . Melimpahnya silikon di dalam air sangat baik bagi pembiakan diatomae, tetapi Sommer (1991) menemukan bahwa ada korelasi antara naiknya jumlah diatomae dengan menurunnya kadar silikon dalam air. *Cyclotella*, *Stephanodiscus* dan *Melosira* dominan di suatu perairan bila Si rendah, sedangkan Fragillariaceae cenderung untuk dominan pada konsentrasi Si yang tinggi. Si ini dapat disimpan dalam jumlah yang signifikan dan diatomae tetap bisa tumbuh dalam

perairan yang sangat rendah dengan Si akan tetapi biasanya akan menurunkan biomasnya.

Silikat sangat dibutuhkan dalam pembentukan frustula diatomae karena lebih dari 60% fraksi anorganiknya terdiri dari silika (Reynolds, 1993). Kandungan silika yang tinggi dapat mempercepat pertumbuhan diatomae, misalnya pada *Tabellaria flocculosa* dan *Fragillaria crotonensis* dan jika konsentrasinya silika di air tawar berkurang, maka proses pertumbuhannya menjadi terbatas.

Tembaga (Cu)

Cu sangat dibutuhkan diatomae untuk pertumbuhannya, meskipun dalam jumlah yang sangat sedikit, karena dalam konsentrasi yang besar bisa merupakan racun bagi diatomae. Konsentrasi Cu sebesar 0,7 mg/L tidak berpengaruh pada *Navicula fragillaria virescens*, *Synedra ulna*, *Achnanthes affinis*, *Neidium bisulcatum*, *Navicula viridula*, *Cymbella naviculiformis*, *Cymbella ventricosa*, *Gomphonema parvulum* dan *Nitzschia palea* toleran terhadap Cu sampai pada konsentrasi 2 mg/L (Reynolds, 1993).

3.3.4. Oksigen terlarut.

Satu faktor penting dalam perairan adalah oksigen terlarut yang bisa bersumber dari atmosfer maupun fotosintesis tanaman hijau. *Navicula seminulum*, *Nitzschia amphibia* dan *Navicula formalis* mampu hidup pada kadar oksigen terlarut yang rendah (Scoeman, 1973 dalam Round, 1987).

Diatomae dijumpai mampu hidup pada kisaran oksigen terlarut antara 7 sampai 12 mg/L. tetapi ada beberapa jenis yang mampu hidup pada konsentrasi oksigen dibawah 6,5 mg/L, karenanya diatomae dapat dijadikan sebagai indikator perairan tercemar (Reynolds, 1993).

3.3.5. pH

Sebagian besar diatomae beradaptasi pada suatu nilai pH tertentu dan tidak mampu menahan perubahan pH yang mendadak, sehingga perubahan pH sangat penting untuk diketahui. Bila terjadi penurunan pH, maka populasi beberapa jenis diatomae akan menurun (Patrick, 1977).

Berdasarkan toleransi pH-nya, maka diatomae dapat diklasifikasikan menjadi 4 kelompok, yaitu:

- Alkalibiontik, kelompok yang mampu hidup pada kisaran pH 7-11. Contoh: *Diatomaea vulgare*, *Ephitemia sp.*, *Melosira meniliformis*, *Gyrosigma acuminatum*, *Navicula pygmaea*, *Stephanodiscus astrea* dan *Rhopaloidea gibba*.
- Alkaliphilous, kelompok yang mampu hidup pada kisaran pH diatas 11. Contoh: *Fragillaria inflata*, *Synedra pulchella*, *Cocconeis pediculus*, *Navicula miniona*, *Amphora ovalis*, *Surirella ovata*, *Navicula rostellata* dan *Gyrosigma spenceri*.
- Acidophilous, kelompok yang mampu hidup pada kisaran pH kurang dari 4. Contoh: *Eunotia paludosa* an *Eunotia veneris*.
- Acidobiontik, kelompok yang mampu hidup pada kisaran pH antara 4 dan 7. Contoh: *Pinnularia subcapitata* dan *Eunotia exigua*.

3.3.6. Salinitas

Setiap jenis diatomae mempunyai toleransi yang berbeda terhadap salinitas, tergantung cara adaptasinya. Berdasarkan toleransinya terhadap salinitas, maka diatomae dibagi menjadi 3 kelompok:

- Polyhalobous, kelompok yang mampu hidup pada salinitas diatas 30 permil. Contoh: *Navicula abrupta*, *N. concellata*, *N. crucifera*, *N. dissipata*, *Odontellarhombus*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Melosira westii* dan *Odontella aurita*.

- Mesohalobous, kelompok yang mampu hidup pada salinitas 0,2-30 permil. Contoh: *Navicula gracilis*, *Coscinodiscus lacustris*, *Achnanthes brevipes*, *Melosira jurgensii* dan *Rhopalodia giberrula*.
- Oligohalobous, kelompok yang hidup pada salinitas 0 - 0,02 permil. Contoh: *Synedra ulna*, *Fragillaria sp.*, *Diatomaea elongatum*, *Melosira varians*, *Meridion circulare* dan *Cocconeis disculus* (Vos & Wolf, 1993).

Namun, *Navicula mutica*, *N. utermoehlii* dan *Nitzschia conspiona*, dijumpai hidup pada salinitas kurang dari 1 per mil, sedangkan *Epithemia turgida*, *Nitzschia acicularis*, *Navicula oblonga* dan *N. pupula* dijumpai pada kisaran salinitas 0,1 - 0,5 ‰. *Nitzschia radricula*, *Nitzschia palea*, *Cymbella minuta* dan *Epithemia adnata* dijumpai hidup pada salinitas 0,5 - 1‰ (Patrick, 1977).

3.3.7. Kompetisi

Algae yang kecil dan berbentuk sferik mempunyai ratio permukaan: volume yang tinggi, karenanya mereka mempunyai kemampuan untuk mengambil unsur hara, fotosintesis dan laju pertumbuhan lebih banyak/besar dibandingkan algae yang berukuran besar (Allan, 1995). Diatomae akan dominan pada temperatur yang rendah ketika ratio P:Si tinggi, algae hijau dominan pada temperatur tinggi dengan ratio N:P sedang dan Cyanophyta akan mendominasi di perairan dengan temperatur tinggi (24°C) pada ratio N:P rendah (Tilman *et al.*, 1982). Kemampuan *Oscillatoria* untuk tumbuh pada intensitas cahaya yang rendah ($<60 \times 10^{17}$ quanta/m²/detik, 13°C) dimana diatomae *Asterionella*, *Diatomaea*, *Tabellaria* dan *Stephanodiscus* mati juga merupakan mekanisme kompetitif yang penting (Reynolds, 1993).

3.3.8. Perumputan (grazing)

Dinamika algae dikontrol oleh ketersediaan unsur hara (**bottom-up control**) dan perumputan oleh zooplankton (**top-down**

control) yang akan mempengaruhi struktur algae (Capblancq & Catalan, 1994) dan ukuran phytoplankton (Sommer, 1985).

3.3.9. Predasi

Populasi *Achnanthes lanceolata* dan *Cocconeis placentula* sering dipengaruhi oleh *Physa heterotropha* (Patrick, 1970 dalam Patrick 1977). Protozoa bersilia merupakan pemangsa diatomae seperti halnya larva serangga yang memangsa *Rhoicophenia curvata* sehingga populasinya menurun (Reynolds, 1993).

3.3.10. Parasitism oleh jamur

Kudoh & Takahashi (1992) menemukan parasit jamur Chytridiomycetes dan Oomycetes yang bersifat epidemi pada diatomae. *Rhizophyidium planktonicum* biasa dijumpai parasit pada *Asterionella formosa* yang dikontrol oleh faktor-faktor lingkungan seperti cahaya, phosphorus dan temperatur (Bruning, 1991). Adalah dimungkinkan, pada masa mendatang, untuk menggunakan jamur-jamur parasit guna memanipulir algal bloom yang sangat mengganggu, karena kebanyakan jamur parasit mempunyai inang yang spesifik dan hanya menginfeksi 1 jenis alga (Van Donk & Bruning, 1995).

3.4. Pemanfaatan Diatomae

Silikat yang merupakan penyusun utama dinding sel diatomae, menyebabkan fosil organisme ini akan tersimpan dengan baik dalam sedimen meskipun sudah diendapkan jutaan tahun. Pada tahun 1988, 68% produksi diatomit dunia digunakan dalam proses penyaringan dan 16% sebagai filter dengan keunggulan tahan terhadap panas dan bahan kimia serta porositas yang baik dan ringan. Sedangkan yang 16% digunakan sebagai pengkilap emas/perak bahkan pada pasta gigi; untuk penstabil nitrogliserin dalam dinamit; penjernih bir, anggur atau gula; penghalang dan

penahan panas dalam perapian; pengisi cat dan pernis; penyerap gas dan materi beracun. Dalam bidang kedokteran, diatomae digunakan sebagai bukti bahwa seseorang mati karena tenggelam (Canter-Lund & Lund, 1995).

Diatomae telah dipergunakan untuk merekonstruksi kondisi lingkungan akuatik pada masa lalu dan memprediksi kondisi perairan seperti pH dan level trophic pada masa mendatang (Charles, 1985). Diatomae dipengaruhi oleh kimia air, maka mereka bisa memberikan informasi tentang pH, salinitas (Engstrom, 1985) dan polutan (Soeprbowati *et al.*, 1994; Suprpti *et al.*, 1993, 1995).

Holland dan Clarke (1989) telah memanfaatkan fosil yang terekam dalam sedimen di Waduk Burrinjunk, New South Wales Australia, untuk merekonstruksi kondisi paleoekologinya.

Hemphill-Haley (1995) menggunakan fosil diatomae laut untuk merekonstruksi gempa bumi dan tsunami 300 tahun yang lalu di pantai selatan Washington. Penelitian diatomae semakin berkembang dengan aplikasinya yang semakin beragam, diantaranya yang sekarang ini sedang dikembangkan adalah penelitian mengenai potensinya sebagai bioindikator.

3.5. Diatomae Sebagai Bioindikator

Penelitian mengenai diatomae sebagai bioindikator telah dilaksanakan di banyak negara di seluruh dunia. Archibald (1972) mengkaji diversitas diatomae dan kaitannya dengan kualitas air di Afrika Selatan, Sabater *et al.* di Spanyol (1987); Dixit *et al.* (1992) di Canada; Round (1993) di Inggris; Prygiel & Coste (1993) di Perancis; Stevenson *et al.* (1996) di Amerika Serikat. Di Australia banyak penelitian mengenai pemanfaatan diatomae dalam kajian kualitas air seperti yang dilakukan oleh Ferris & Vyvermann (1995); Reid *et al.* (1995) dan John (1996).

Di Indonesia, pengkajian tentang diatomae sebagai bioindikator masih jarang sekali dilakukan. Soeprbowati *dkk* telah memulainya sejak 1993, khususnya yang berupa alga film pada rumput laut (Soeprbowati *et al.*, 1993). Diatomae epifitik mendominasi baik dalam jumlah jenis maupun

dalam jumlah individu di atas devisi yang lain. Dari penelitian ini diperoleh data tentang beberapa jenis diatomae yang dominan pada rumput laut, antara lain *Diatoma*, *Nitzschia*, *Pleurosigma*, *Stauroneis*, *Synedra* dan *Surirella*. *Surirella robusta*, *Meridion* sp dan *Navicula rhyncocephala* merupakan spesies yang dominan di Sungai Banjir Kanal Barat dan Babon Semarang (Soeprbowati, et al., 1998b).

Amphora, *Amphipleura*, *Diatoma*, *Frustulia*, *Mastogloia*, *Navicula oblonga* dan *Nitzschia* sangat toleran terhadap perairan yang tercemar oleh limbah organik dengan kelimpahan lebih besar dari 10%, dengan demikian bisa dipromosikan sebagai bioindikator pencemaran organik (Soeprbowati et al., 1994; Suprpti, 1995).

Ada korelasi antara pencemaran perairan oleh logam berat Cu dan Pb dengan *Nitzschia* meskipun kelimpahan organisme ini kurang dari 5 % (Suprpti, 1993). *Cocconeis*, *Cyclotella*, *Meridion*, *Navicula* dan *Surirella* merupakan jenis-jenis yang dapat dipakai sebagai bioindikator perairan yang relatif tidak tercemar atau tercemar ringan oleh logam berat, khususnya Cu dan Pb.

Species *Bacillaria*, *Caloneis*, *Cyclotella*, *Diatoma*, *Hantzschia*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Mastogloia*, *Melosira*, *Pinnularia* dan *Stephanodiscus* dari diatomae juga berpotensi untuk dijadikan bioindikator di perairan yang eutrophic, dengan konsentrasi TP 950 mg/L, TN 9,9 mg/L dan Si 6,6 mg/L (Soeprbowati, 1996). Diatomae bisa dipergunakan untuk melacak proses eutrofikasi, khususnya yang disebabkan oleh aktivitas manusia, walaupun hal ini tergantung pada spesifikasi lokasi (Engstrom, 1985; Soeprbowati, 1996).

Penelitian pada tahun pertama, mengenai potensi diatomae sebagai bioindikator kualitas air di tujuh sungai di PANTURA Jateng menunjukkan bahwa pemetaan kualitas air, sedimen, dan diatomae pada lapisan atas sedimen menunjukkan pola pengelompokan yang sama. Adapun spesies yang bertanggung jawab terhadap pengelompokan tersebut yaitu: *Synedra ulna*, *Nitzschia palea*, *Fragillaria cappucina* and *Nitzschia sigmaidea* (Soeprbowati et al., 1999a; 1999b).

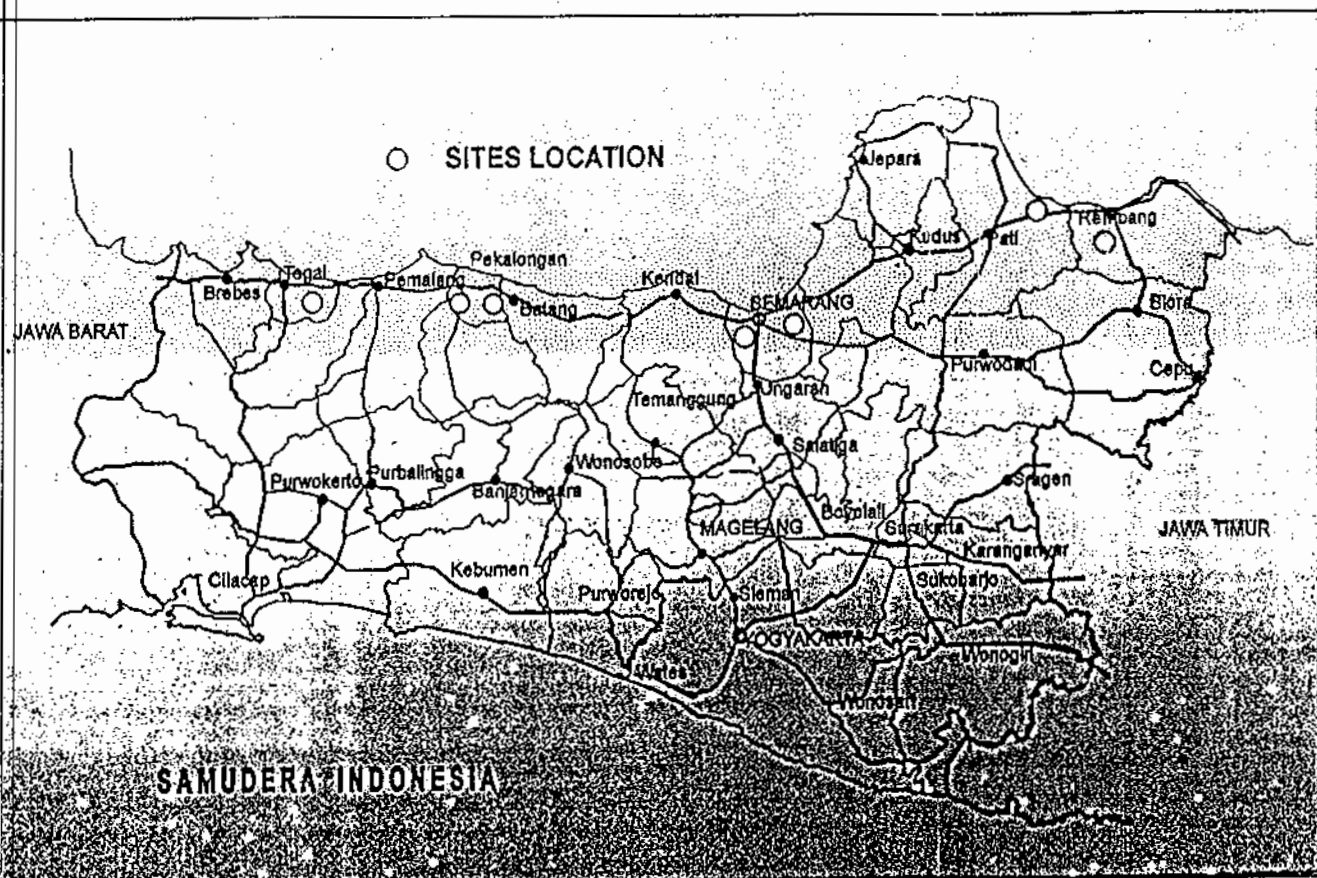
Atas dasar besarnya potensi diatomae sebagai bioindikator pencemaran perairan, maka perlu dikaji spesies-spesies indeks dari diatomae yang dapat dipergunakan sebagai dasar dalam penentuan tingkat kualitas perairan. Dengan demikian diatomae, dapat digunakan sebagai metode baru dalam biomonitoring untuk menggantikan metode yang kurang efektif yang selama ini digunakan.

IV. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam 2 tahap selama 2 tahun. Adapun pada tahun ke dua ini adalah: Kategorisasi tingkat kualitas perairan dan penentuan spesies indeks diatomae.

STRATEGI

Dari sampel sedimen yang telah diperoleh di tahun pertama (April dan Agustus 1998), kemudian dilakukan ekstraksi, preparasi dan identifikasi diatomae pada tiap lapisan sedimen (Wetzel & Likens, 1991; Round, 1993) untuk merekonstruksi kondisi ekologi di Sungai Karanggeneng-Rembang, Juana-Pati, Banjir Kanal Timur-Sematang, Banjir Kanal Barat - Semarang, Banger-Pekalongan, Pekalongan-Pekalongan dan Gung-Tegal dan memprediksi kondisi ekologi di masa mendatang (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel di 7 sungai di Pantai Utara Jawa Tengah

Peng-kode-an lokasi dan waktu penelitian adalah: huruf merupakan singkatan dari nama sungai, angka pada digit pertama menunjukkan waktu pengambilan sampel, pada digit kedua menunjukkan lapisan sedimen, dan digit ketiga menunjukkan lokasi di sungai terambil. Untuk lebih jelasnya peng-kode-annya sebagai berikut:

- KG 1.1.1 = Sungai Karanggeneng, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
- KG 1.1.2 = Sungai Karanggeneng, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
- KG 1.2.1 = Sungai Karanggeneng, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
- KG 1.2.2 = Sungai Karanggeneng, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
- KG 2.1.1 = Sungai Karanggeneng, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
- KG 2.1.2 = Sungai Karanggeneng, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
- KG 2.2.1 = Sungai Karanggeneng, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
- KG 2.2.2 = Sungai Karanggeneng, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
- J 1.1.1 = Sungai Juana, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
- J 1.1.2 = Sungai Juana, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
- J 1.2.1 = Sungai Juana, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
- J 1.2.2 = Sungai Juana, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
- J 2.1.1 = Sungai Juana, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
- J 2.1.2 = Sungai Juana, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
- J 2.2.1 = Sungai Juana, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
- J 2.2.2 = Sungai Juana, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
- BKT 1.1.1 = Sungai Banjir Kanal Timur, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
- BKT 1.1.2 = Sungai Banjir Kanal Timur, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
- BKT 1.2.1 = Sungai Banjir Kanal Timur, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
- BKT 1.2.2 = Sungai Banjir Kanal Timur, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
- BKT 2.1.1 = Sungai Banjir Kanal Timur, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
- BKT 2.1.2 = Sungai Banjir Kanal Timur, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
- BKT 2.2.1 = Sungai Banjir Kanal Timur, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
- BKT 2.2.2 = Sungai Banjir Kanal Timur, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
- BKB 1.1.1 = Sungai Banjir Kanal Barat, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
- BKB 1.1.2 = Sungai Banjir Kanal Barat, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
- BKB 1.2.1 = Sungai Banjir Kanal Barat, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
- BKB 1.2.2 = Sungai Banjir Kanal Barat, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
- BKB 2.1.1 = Sungai Banjir Kanal Barat, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
- BKB 2.1.2 = Sungai Banjir Kanal Barat, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
- BKB 2.2.1 = Sungai Banjir Kanal Barat, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
- BKB 2.2.2 = Sungai Banjir Kanal Barat, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2

- PKL 1.1.1 = Sungai Pekalongan, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
 PKL 1.1.2 = Sungai Pekalongan, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
 PKL 1.2.1 = Sungai Pekalongan, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
 PKL 1.2.2 = Sungai Pekalongan, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
 PKL 2.1.1 = Sungai Pekalongan, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
 PKL 2.1.2 = Sungai Pekalongan, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
 PKL 2.2.1 = Sungai Pekalongan, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
 PKL 2.2.2 = Sungai Pekalongan, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
 Bg 1.1.1 = Sungai Banger, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
 Bg 1.1.2 = Sungai Banger, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
 Bg 1.2.1 = Sungai Banger, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
 Bg 1.2.2 = Sungai Banger, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
 Bg 2.1.1 = Sungai Banger, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
 Bg 2.1.2 = Sungai Banger, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
 Bg 2.2.1 = Sungai Banger, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
 Bg 2.2.2 = Sungai Banger, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
 G 1.1.1 = Sungai Gung, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
 G 1.1.2 = Sungai Gung, April 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
 G 1.2.1 = Sungai Gung, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
 G 1.2.2 = Sungai Gung, April 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2
 G 2.1.1 = Sungai Gung, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 1
 G 2.1.2 = Sungai Gung, Agustus 1998, lapisan atas sedimen, lokasi 2
 G 2.2.1 = Sungai Gung, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 1
 G 2.2.2 = Sungai Gung, Agustus 1998, lapisan bawah sedimen, lokasi 2

Diatomae dipisahkan dari sedimen dengan penambahan asam nitrat pekat dan potassium dikromat. Selanjutnya dicuci berulang kali dengan air murni sampai pH menjadi netral. Dari residu yang diperoleh kemudian dibuat sediaan yang mengandung diatomae dengan menggunakan perekat Hyrax. Identifikasi dilakukan dengan menggunakan mikroskop perbesaran 400-1000 sampai ditemukan minimal 100 frustula dari diatomae yang dominan untuk menggambarkan kelimpahan relatif dari spesies-spesies yang hadir (Round, 1993). Identifikasi dilakukan dengan menggunakan buku-buku identifikasi diatomae (Gell *et al.*, 1999; Holland & Clarke, 1989; Gasse, 1986 and Germain, 1981).

Selanjutnya dilakukan penghitungan persentase berat kering dan photosynthetic pigment degradation units (dengan Spektrofotometer) pada sedimen, kandungan nutrient yang meliputi total P-fosfat (metode Spektrofotometri), total N (Metode Kjeidhal) dan kandungan logam beratnya: cooper (Cu), kromium (Cr), plumbum (Pb) dan kadmium (Cd) dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (Anonim, 1992).

Analisis data dilakukan dengan menggunakan paket program PRIMER versi 4.0 yang dikeluarkan oleh Plymouth Marine Laboratory, United Kingdom (Carr, 1997). Selanjutnya berdasarkan data pada penelitian utama yang meliputi kualitas air, sedimen dan kemelimpahan diatomae, dibuat peta distribusi kualitas air di tujuh sungai penelitian dengan analisis Cluster.

Kemudian dengan analisis SIMPER (similarity percentage) diperoleh spesies yang berperan sangat penting atas terbentuknya kelompok-kelompok (Clarke, 1993). Dengan analisis ini akan ditentukan spesies indeks diatomae yang dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator kualitas perairan. Untuk menentukan parameter lingkungan yang paling berperan terhadap komunitas diatomae, maka dilakukan analisis BIOENV (Clarke & Warwick, 1994; Clarke, 1994).

Untuk mengetahui hubungan antara parameter lingkungan dengan jenis diatomae yang berpotensi sebagai bioindikator, maka dilakukan analisis korelasi, yang pengerjaannya menggunakan SPSS for Window versi 6.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL

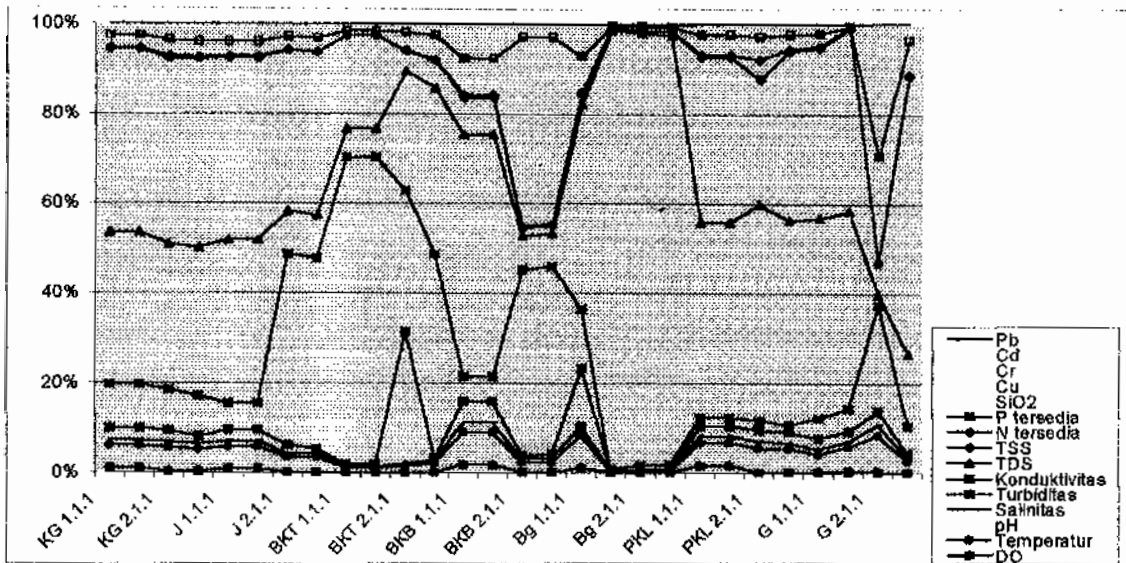
1. Kualitas air

Rata-rata curah hujan dalam sebulan di bulan April sebesar 269 mL dengan jumlah hari hujan dalam sebulan 23 hari, sedangkan pada bulan Agustus sebesar 108 mL dengan jumlah hari hujan 11 hari (Stasiun Klimatologi Semarang, 1998). Lebih rendahnya curah hujan di bulan Agustus ini menyebabkan kecepatan arus di sungai menjadi rendah yang pada gilirannya menjadi penyebab utama terjadinya penurunan konsentrasi oksigen di ketujuh sungai pada bulan Agustus dibandingkan dengan bulan April. Di sisi lain, lebih rendahnya curah hujan menurunkan konsentrasi nitrogen yang umumnya berasal dari pencucian lahan pertanian oleh hujan.

Secara umum terlihat bahwa konsentrasi total nitrogen tersedia menunjukkan penurunan dari bulan April ke Agustus 1998, sedangkan total fosfor tersedia justru menunjukkan kenaikan, yang kemungkinan karena frekuensi terjadinya pencucian fosfor oleh air hujan menjadi semakin berkurang.

Sungai Gung - Tegal mempunyai kualitas air yang paling buruk dibandingkan sungai lainnya baik pada bulan April maupun Agustus. Konsentrasi oksigen terlarut dan Cu melebihi Standar Baku Mutu di Jawa Tengah untuk semua golongan. Konsentrasi kromium (Cr) pada bulan April melebihi standar baku mutu untuk air minum. Total Nitrogen tersedia dan turbiditas juga menunjukkan angka yang paling tinggi pula, masing-masing sebesar 3,11 mg/L dan 18,01 NTU (Gambar 2).

Setelah dilakukan pembuatan dendrogram dengan analisis Cluster (Gambar 3), menunjukkan pengelompokan stasiun penelitian berdasarkan kualitas airnya. Terlihat bahwa Sungai Gung dan Sungai Pekalongan dikategorikan sebagai satu kelompok dan Sungai Banjir Kanal Timur, Juana dan Banjir Kanal Barat sebagai kelompok yang lain. Sungai Karanggeneng dan Juana mempunyai kesamaan Bray-Curtis 96%.



Gambar 2. Kualitas air tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah

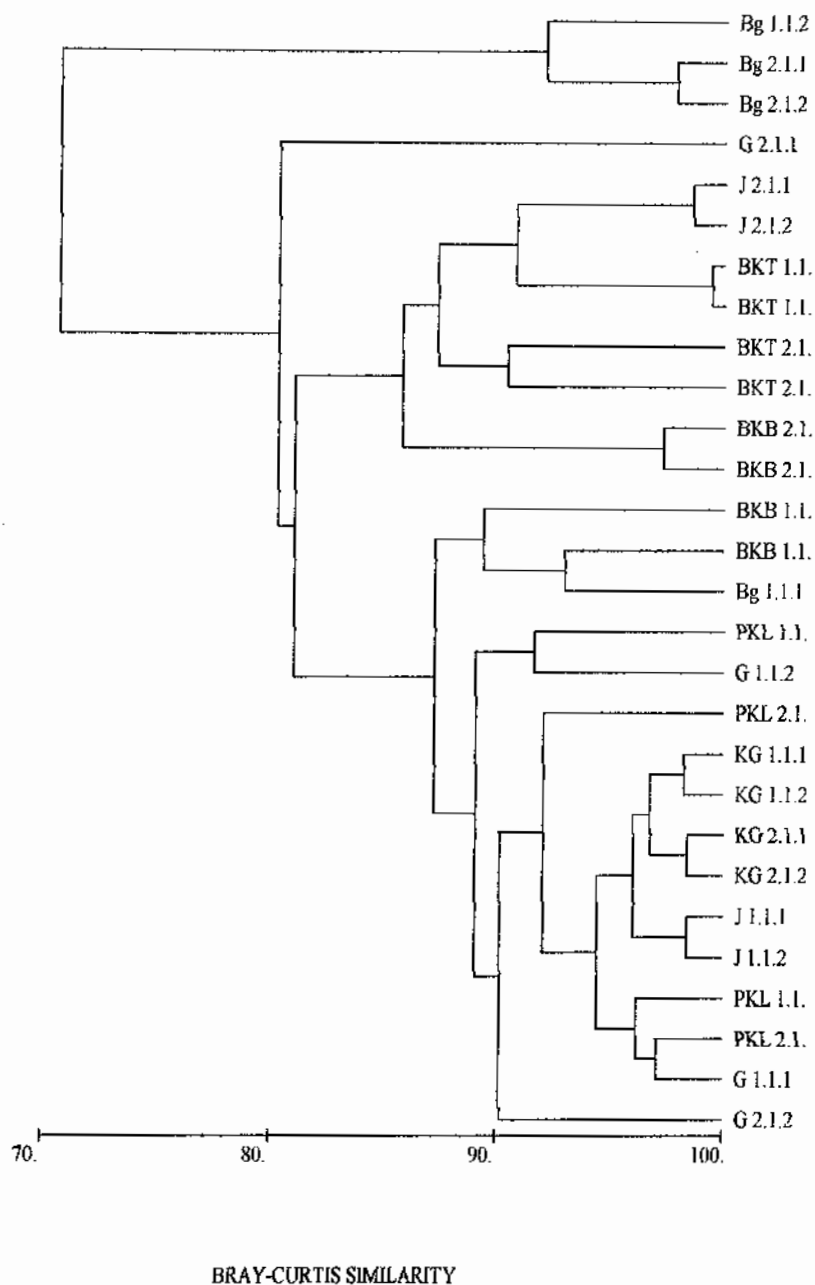
Setelah dilakukan analisis BIOENV, diketahui bahwa diantara parameter lingkungan, maka Cu, Cd, N dan P sangat berpengaruh terhadap kehadiran spesies diatomae dan hanya Cu saja yang paling berpengaruh terhadap kemelimpahannya dengan maksimum korelasi 0,468 sehingga diperlukan pengelolaan untuk mengatur agar konsentrasinya tetap stabil, dengan harapan agar ekosistem juga akan terjaga kestabilannya.

2. Sedimen

Secara umum komposisi sedimen adalah pasir (85%) dengan ukuran butir rata-rata pasir halus. Kecilnya fraksi lumpur (kurang dari 5%) bisa menggambarkan turbulensi yang terjadi di sungai tersebut dengan kisaran kecepatan pengendapan 3-4 cm/det.

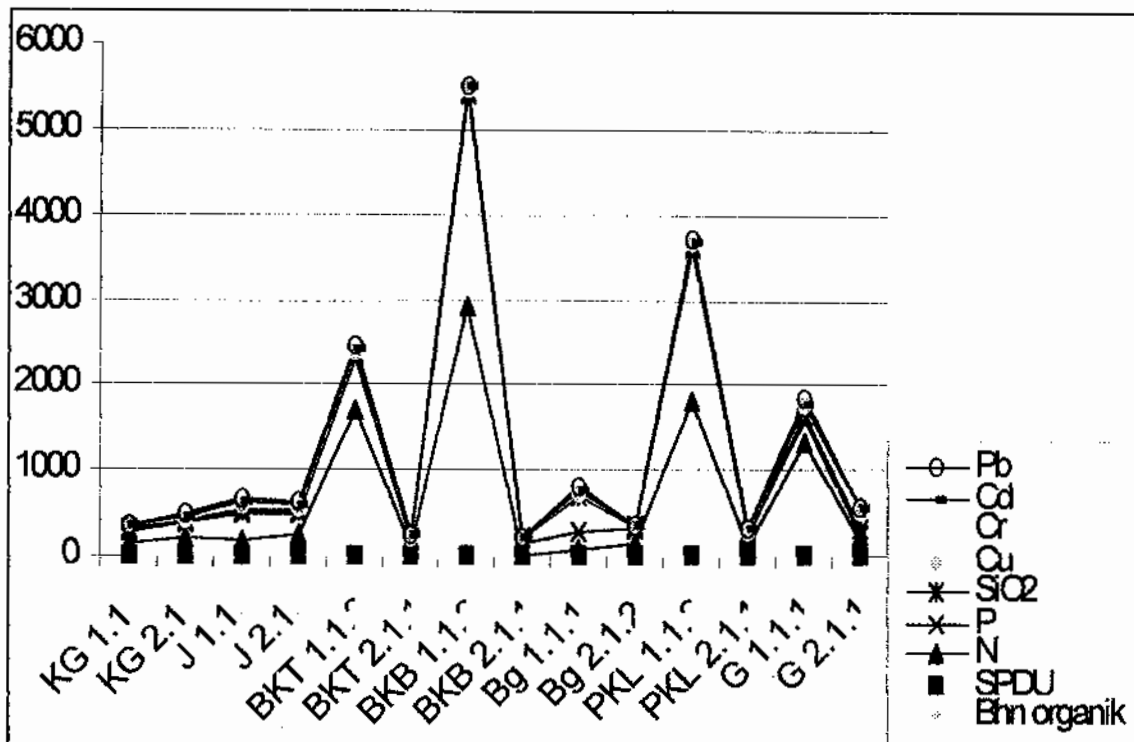
Konsentrasi nitrogen tersedia, fosfor tersedia, silikat, Cu, Cr, Pb dan Cd pada sedimen jauh lebih tinggi jika dibandingkan di badan air karena adanya proses akumulasi yang terjadi. Nitrogen dan fosfor tersedia dan silika menunjukkan penurunan konsentrasi di lapisan atas sedimen (Gambar 4 dan 5). Hal ini kemungkinan karena dibebaskannya ion dari unsur-unsur tersebut dari sedimen berkaitan dengan semakin meningkatnya kebutuhan akibat meningkatnya populasi diatomae di bulan Agustus.

KUALITAS AIR 7 SUNGAI DI PANTURA JAWA TENGAH, 1998-1999.

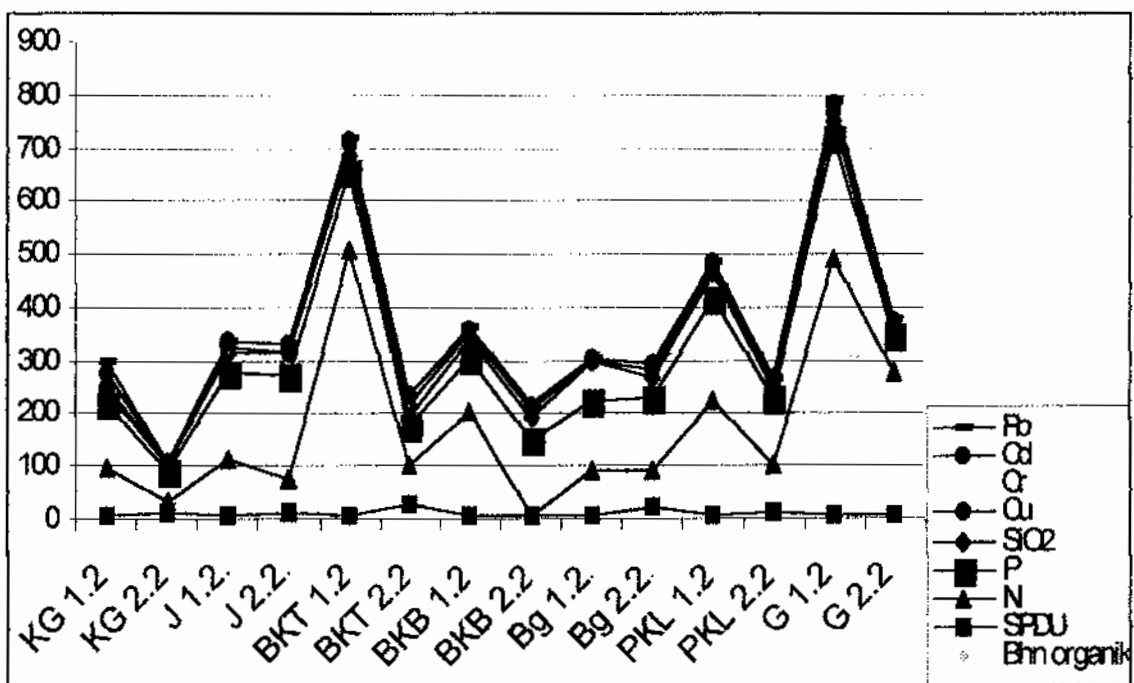


Gambar 3. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kualitas air. Data ditransformasi dalam akar pangkat empat.

File:\hibah99\air-V4.cgm



Gambar 4. Kualitas lapisan atas sedimen 7 sungai di PANTURA Jawa Tengah .



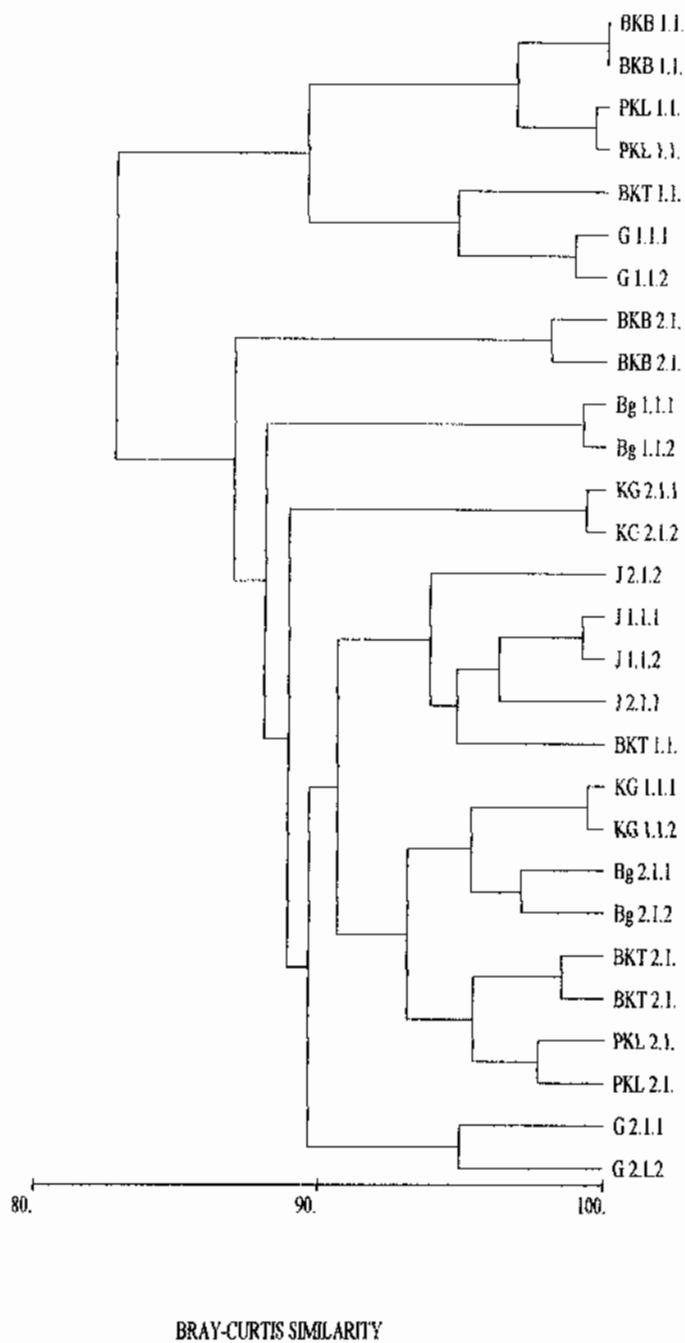
Gambar 5. Kualitas lapisan bawah sedimen tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah

Dari Gambar 6 dan 7 terlihat nyata bahwa berdasarkan komposisi kimia sedimen, Sungai Gung juga mempunyai kualitas yang berbeda dengan sungai-sungai yang lain. Di kedua lapisan Sungai Gung ini berkelompok dengan Sungai Banjir Kanal Timur. Sungai Pekalongan bergabung dengan Banjir Kanal Barat dan Banger di lapisan bawah sedimen, sedangkan di lapisan atas dengan Sungai Banjir Kanal Barat. Sungai Karanggeneng, Banger dan Banjir Kanal Barat merupakan sungai yang eksklusif karena terpisah dari lainnya.

Jika kualitas sedimen lapisan atas maupun bawah dilihat secara keseluruhan, maka Sungai Karanggeneng mengelompok dengan Sungai Juana, Sungai Banger dengan Pekalongan, dan Banjir Kanal Barat dan Timur yang eksklusif (Gambar 8).

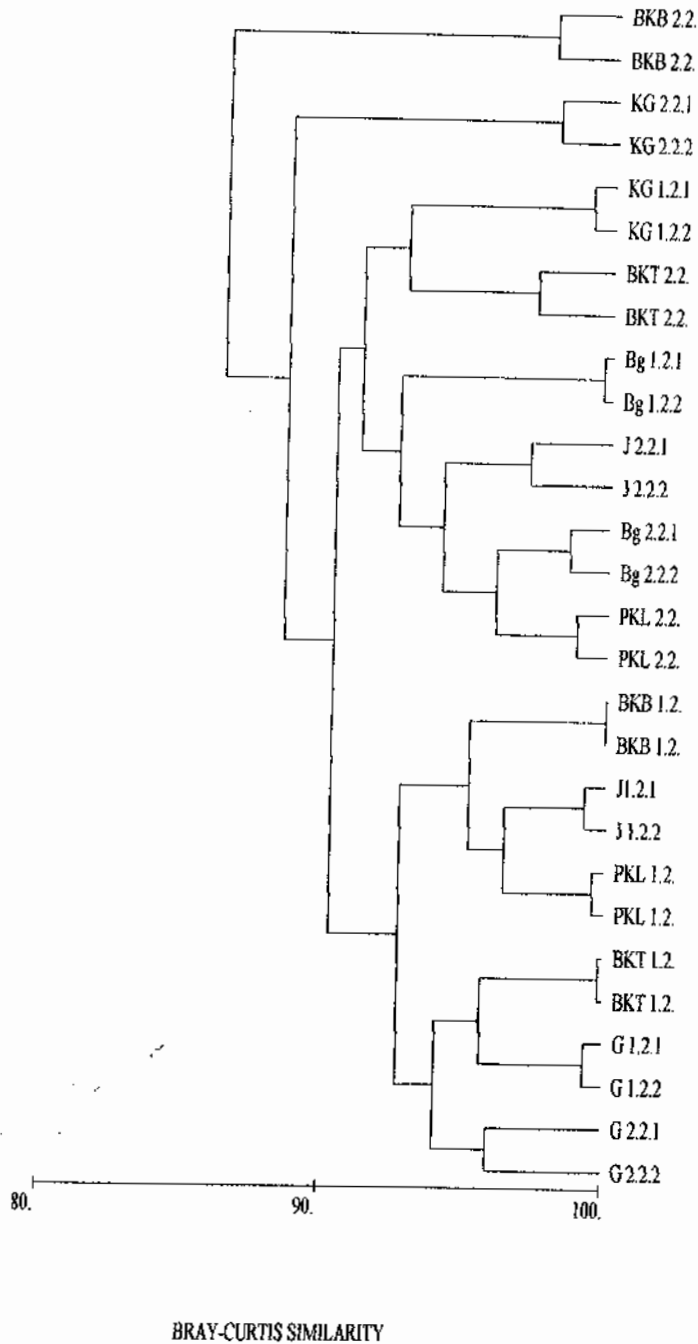
Sungai Banjir Kanal Barat saat ini membentuk satu kelompok yang jauh terpisah dari sungai yang lain dan menunjukkan kondisi sedimen yang konsentrasi kimiawinya lebih kecil dibandingkan dengan sungai yang lain. Hal ini disebabkan karena seringnya dilakukan pengerukan di sungai ini, khususnya di bagian hilir dekat dengan muara untuk menanggulangi banjir. Dengan cara pengerukan ini ternyata efektif dalam menurunkan konsentrasi bahan kimia di sedimen. Pengerukan merupakan cara paling murah dan mudah dalam menanggulangi masalah pencemaran, karena berkurangnya konsentrasi yang diakumulasi di sedimen akan mengurangi proses pembebasan ion dari sedimen.

KUALITAS TOP SEDIMEN 7 SUNGAI DI PANTURA JAWA TENGAH, 1998-1999.



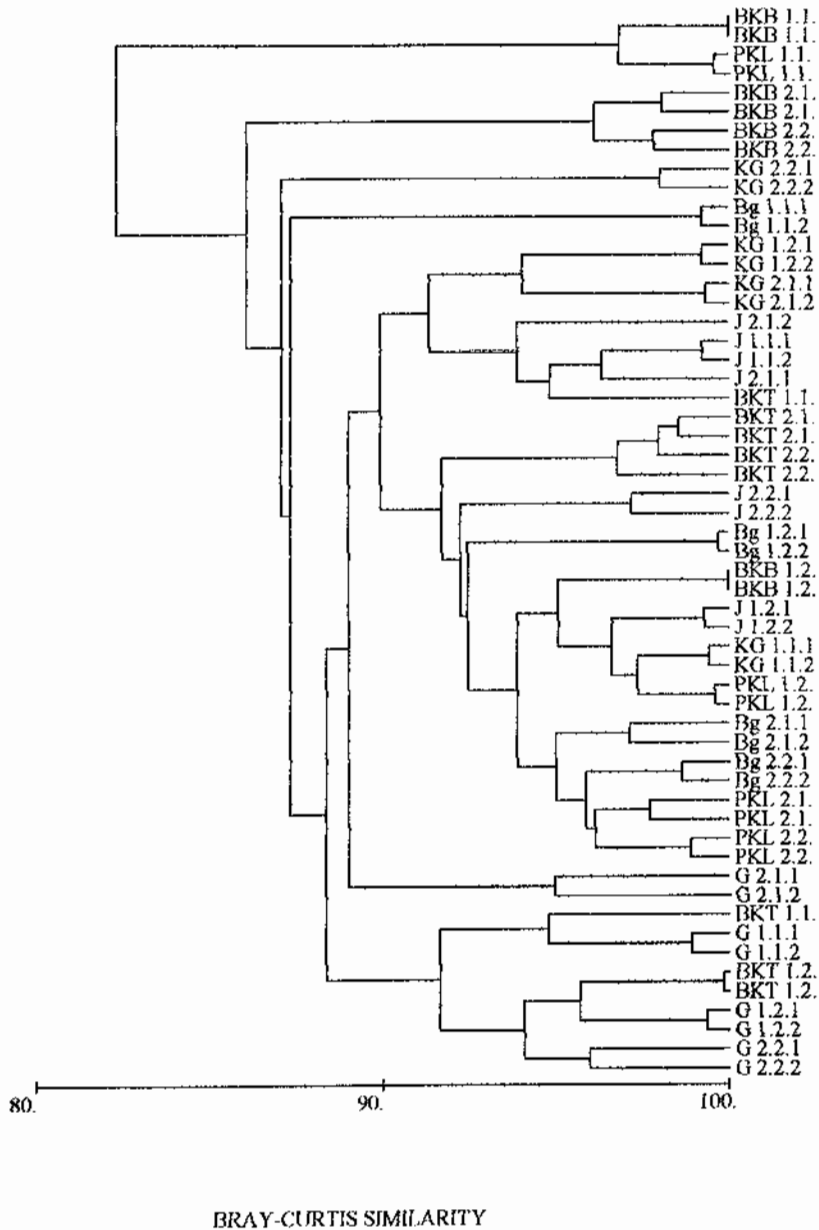
Gambar 6. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kualitas sedimen di lapisan atas.
File:\hibah99\sed-top.cgm

KUALITAS BOTTOM SEDIMEN 7 SUNGAI DI PANTURA JAWA TENGAH, 1998-1999.



Gambar 7. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kualitas sedimen di lapisan bawah.
File:\hibah99\sed-btm.cgm

KUALITAS SEDIMEN 7 SUNGAI DI PANTURA JAWA TENGAH, 1998-1999.



Gambar 8. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kualitas sedimen. Data ditransformasi dalam akar pangkat empat.

File:\hibah99\sed-V4.cgm

3. Komunitas diatomae

Dari 2 kali pengambilan sampel, dijumpai 116 spesies diatomae pada 2 lapisan sampel sedimen, yang diantaranya hanya ada 4 marga dari kelompok Centrales, yaitu *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Melosira* dan *Thalassiosira*.

Pada bulan April 1998 dijumpai 71 spesies diatomae pada lapisan atas dan 80 spesies pada lapisan bawah sedangkan pada bulan Agustus 1998 dijumpai 74 spesies pada lapisan atas dan 73 spesies pada lapisan bawah. *Nitzschia palea* dan *Synedra ulna* hadir pada semua setasiun penelitian pada setiap pengambilan sampel dan semua perlapisan sedimen. Sedimen lapisan bawah Sungai Karanggeneng, yang dalam penelitian ini merupakan wakil dari sungai yang relatif alami dan belum tercemar, mempunyai jumlah individu terendah (Gambar 9). Sedangkan jumlah individu tertinggi dijumpai pada sampel sedimen lapisan bawah dari Sungai Gung. Hal ini menandakan bahwa di Sungai Gung, kondisi fisik-kimiawi perairannya pada batas yang baik untuk pertumbuhan diatomae. Jumlah spesies terendah dijumpai pada sedimen lapisan atas Sungai Banjir Kanal Timur dan Banger, sedangkan sedimen lapisan bawah Sungai Gung mempunyai jumlah spesies yang tertinggi (Gambar 10). Dilihat dari indeks keanekaragamannya (baik Richness maupun Shanon-Wiener), maka Sungai Pekalongan dan Gung di masa lalu merupakan ekosistem yang relatif stabil, seperti yang dicerminkan dari indeks keanekaragaman diatomae di lapisan bawah dari sedimennya (Gambar 11). Hal ini menggambarkan bahwa ada alterasi kualitas air sungai dengan tereliminirnya spesies yang sensitif.

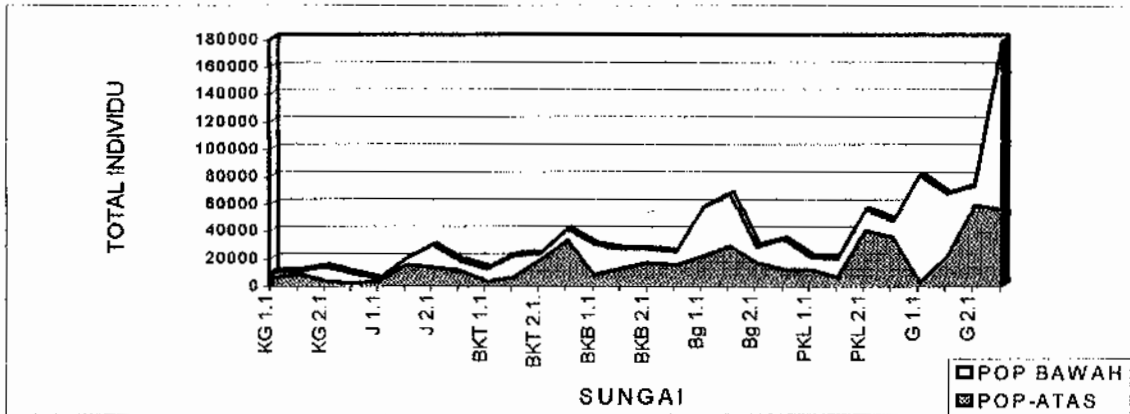
Perbedaan Komunitas antar perlapisan sedimen/waktu

Sampel sedimen yang terambil tersusun oleh dua perlapisan, yaitu lapisan atas dan bawah. Pada lapisan atas, terlihat bahwa Sungai Karanggeneng mempunyai kesamaan Bray-Curtis yang paling rendah dengan sungai lainnya (Gambar 12). Baik pada lapisan atas ataupun lapisan bawah, Sungai Gung dan Banger ada pada satu kelompok yang sama (Gambar 12 dan 13). Pada pengambilan sampel bulan April 1998, Sungai Gung dan Banger juga terdapat dalam satu kelompok (Gambar 14), demikian juga pada

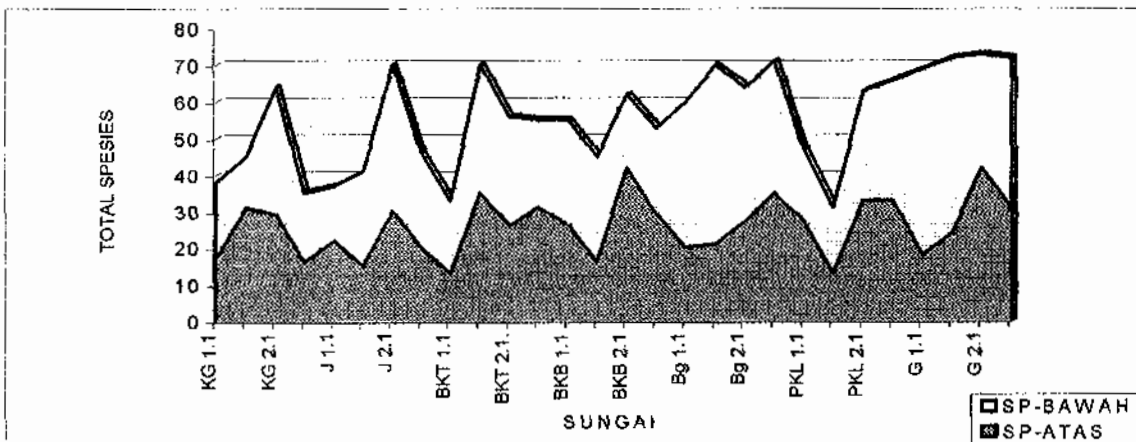
pengambilan sampel Agustus 1998, hanya untuk lapisan bawah sedimen, Sungai Gung berkelompok dengan Sungai Pekalongan (Gambar 15). Hal ini mengindikasikan adanya alterasi pengelompokan sungai yang ada. Dari ANOSIM diketahui bahwa ada perbedaan komunitas diatomae antar waktu pengambilan sampel dengan global $R=0,174$.

Pada lapisan atas sedimen, rerata kesamaan kemelimpahan relatif diatomae antar sungai pada bulan April 1998 adalah 27,85, sedangkan pada bulan Agustus 1998 sebesar 31,17. Perbedaan komunitas diatomae lapisan atas sedimen pada bulan April dan Agustus 1998 mempunyai rerata dissimilaritas sebesar 84,37. Yang menyebabkan perbedaan tersebut adalah *Synedra ulna* dan *Fragillaria cappucina* (Lampiran 1). Berdasarkan kehadiran spesies diatomae, maka rerata similiaritas antar sungai pada April 1998 sebesar 38,46 dengan *S. ulna* dan *N. palea* yang menyebabkan perbedaannya; sedangkan pada bulan Agustus 1998 sebesar 43,71 dengan kehadiran *F. cappucina* dan *F. virescens* sebagai pembeda. Dissimilaritas antara diatomae yang terambil pada bulan Agustus dan April 1998 sebesar 67,59 dengan kehadiran *F. cappucina* dan *N. palea* sebagai pembeda (Lampiran 2).

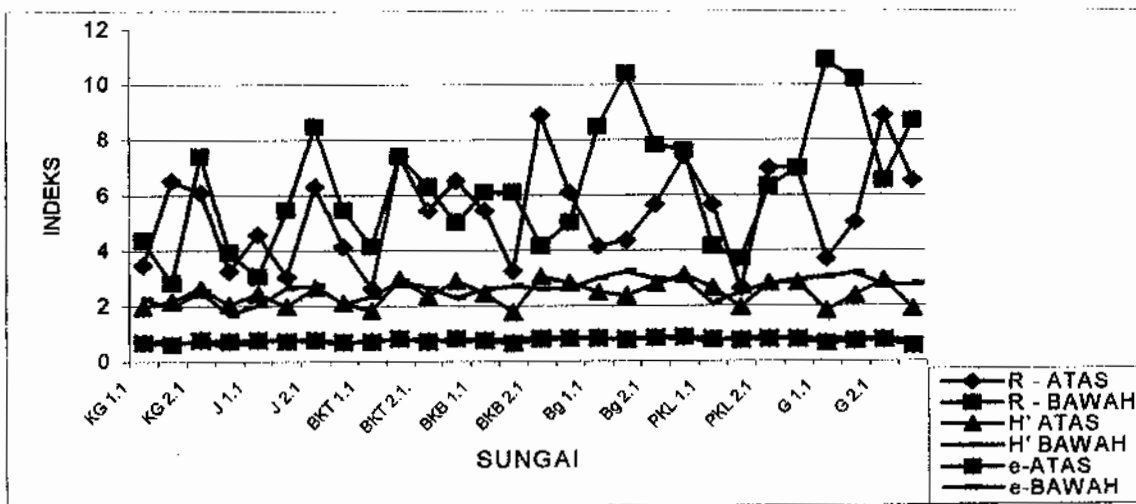
Pada April 1998, komunitas diatomae mempunyai rerata similaritas kemelimpahan relatif antar sungai 34,28, sedangkan pada Agustus 1998 sebesar 40,69 dengan *S. ulna* dan *Gomphonema lanceolatum* sebagai pembeda. Rerata dissimilaritas antar kemelimpahan relatif diatomae yang terambil pada April dan Agustus 1998 sebesar 65,88 dengan *S. ulna* dan *Pinnularia gibba* sebagai pembeda (Lampiran 3). Jika yang diperhatikan hanya kehadiran diatomae-nya saja, maka rerata kesamaan antar sungai pada April 1998 adalah 49,33 dan pada Agustus 1998 sebesar 51,85. Pembeda pada bulan April 1998 adalah *S. ulna*, *N. palea*, *G. lanceolatum*, *F. virescens*, *Sellaphora bacillum*, dan *P. gibba* sedangkan pada Agustus 1998 pada *S. ulna*, *G. lanceolatum*, *N. palea*, *P. gibba* dan *G. ventricosum*. Adapun rerata dissimilaritas kemelimpahan relatif diatomae pada April dan Agustus 1998 sebesar 53,77 (Lampiran 4).



Gambar 9. Variasi total individu pada tiap perlapisan sedimen.

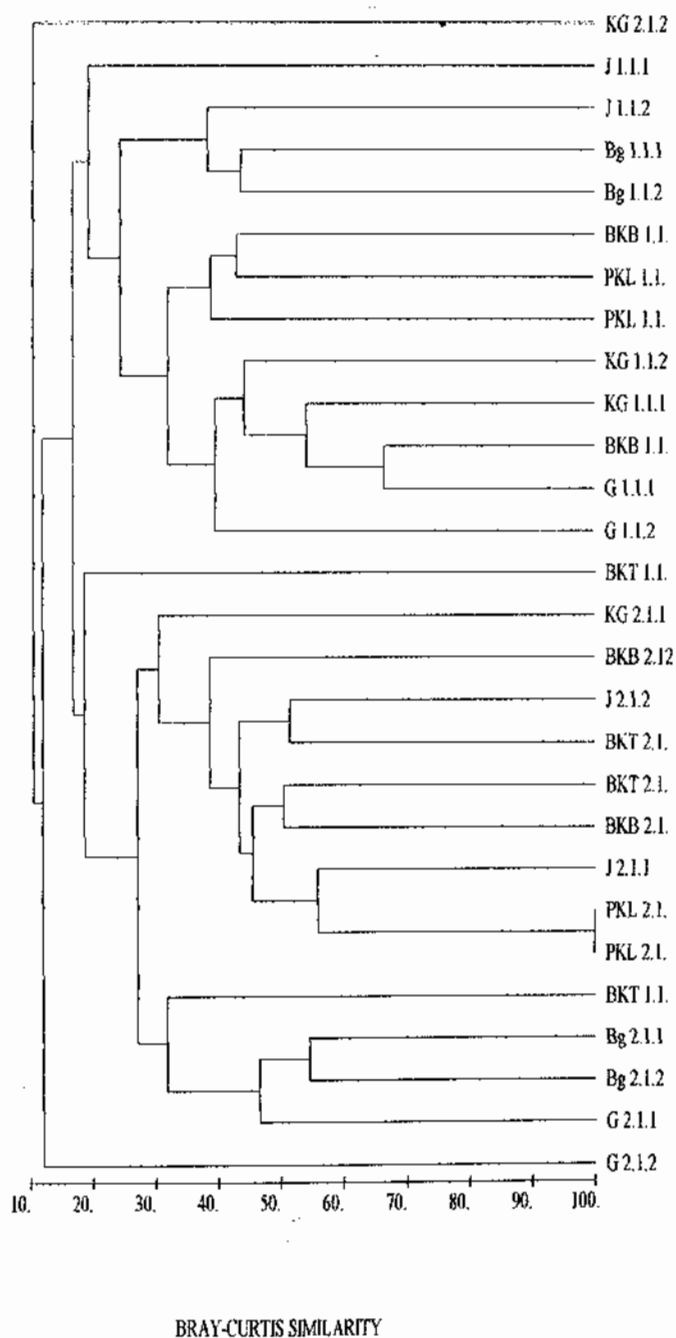


Gambar 10. Variasi total spesies pada tiap perlapisan sedimen



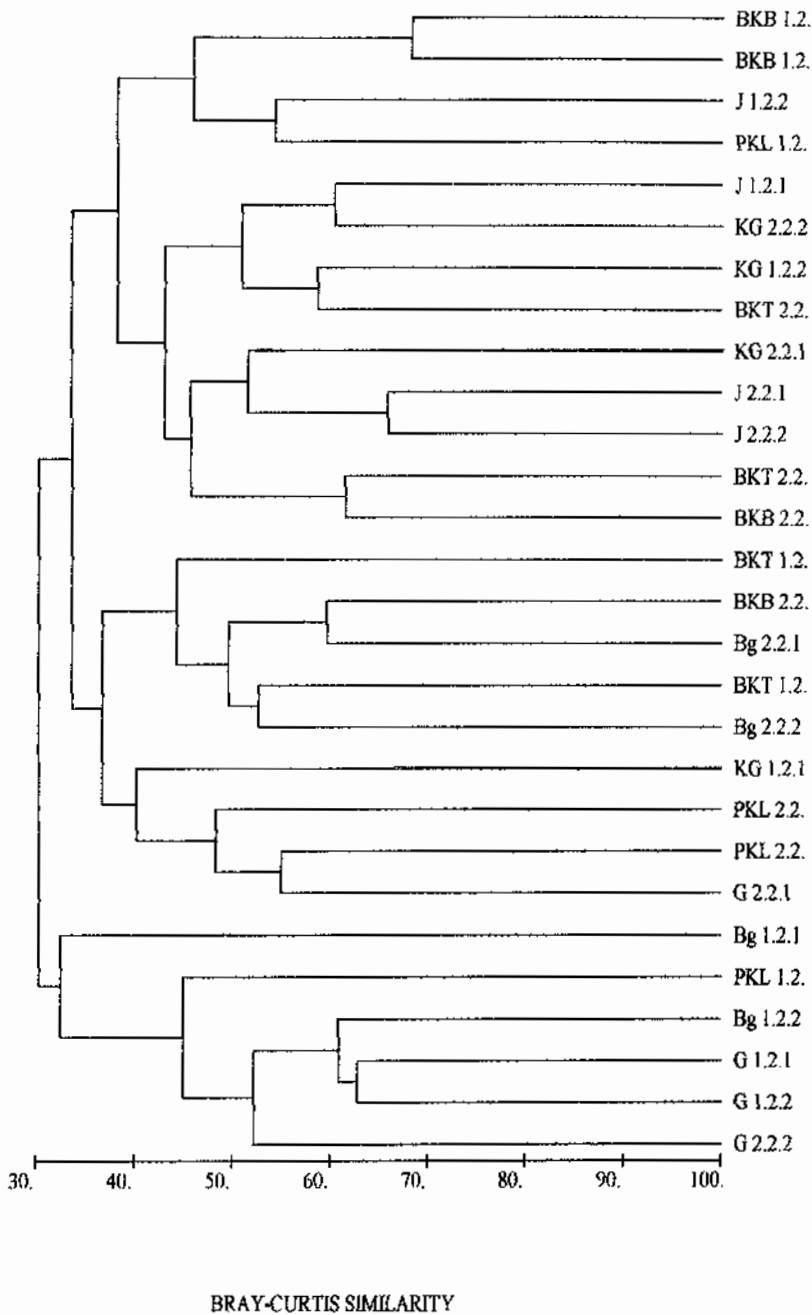
Gambar 11. Variasi indeks keanekaragaman Richness (R), Shanon-Wiener (H') dan Eveness (e) pada tiap perlapisan sedimen.

DIATOM DI TOP DAN BOTTOM LAYER SEDIMEN BEBERAPA SUNGAI DI PANTUR, APRIL DAN AGU



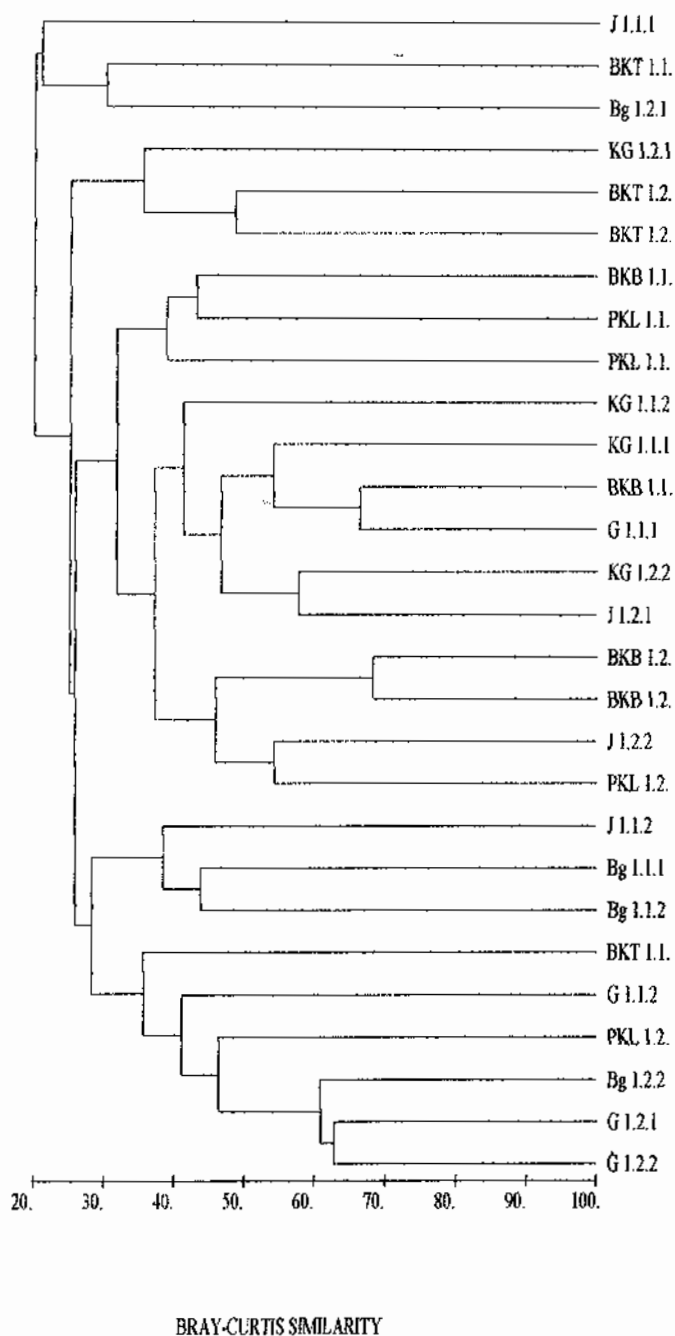
Gambar 12. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kemelimpahan relatif diatomae, pada lapisan atas sedimen, 1998. File:\hibah99\top98-di.cgm

DIATOM DI BOTTOM LAYER DARI 7 SUNGAI DI PANTURA JATENG



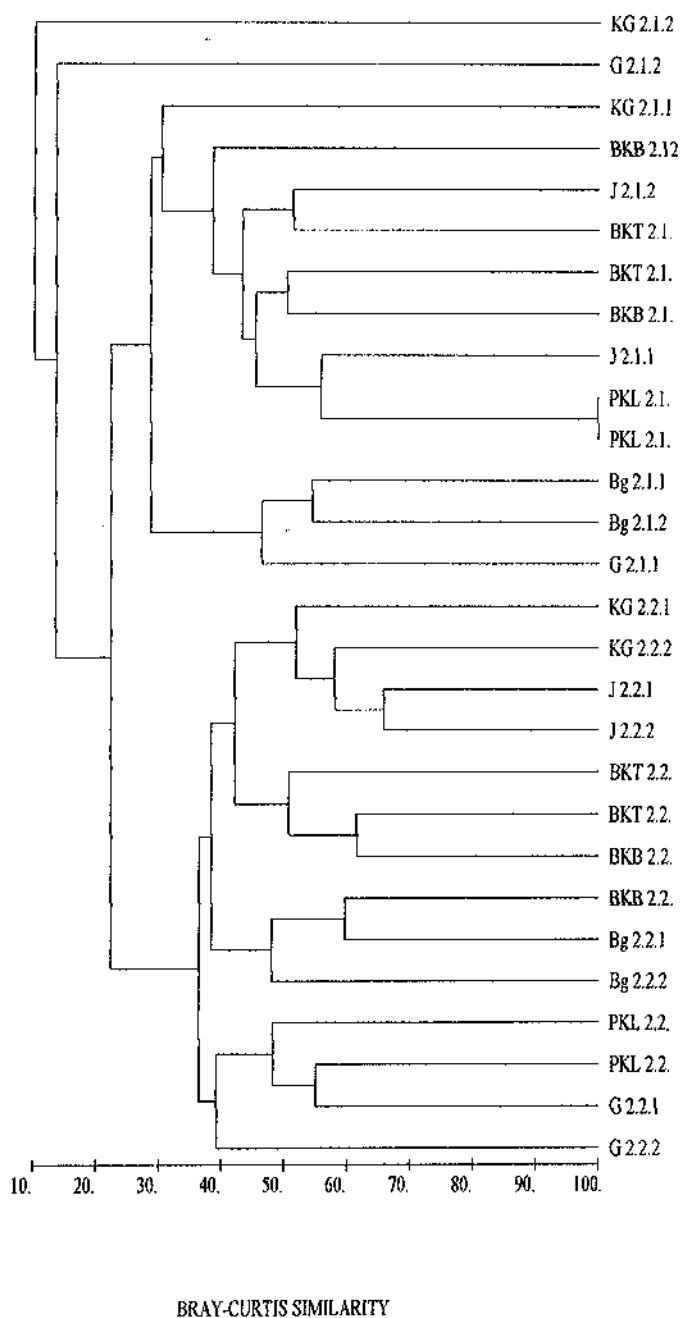
Gambar 13. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kelimpahan relatif diatomae, pada lapisan bawah sedimen, 1998. File:\hibah99\denbtmdi.cgm

DIATOM DI TOP DAN BOTTOM LAYER SEDIMEN BEBERAPA SUNGAI DI PANTUR, APRIL DAN AGU



Gambar 14. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kemelimpahan relatif diatomae, pada semua lapisan sedimen, April 1998. File:\hibah99\april-di.cgm

DIATOM DI TOP DAN BOTTOM LAYER SEDIMEN BEBERAPA SUNGAI DI PANTUR, APRIL DAN AGU



Gambar 15. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kelimpahan relatif diatomae, pada semua lapisan sedimen, Agustus 1998. File:\hibah99\agst-di.cgm

Alterasi pengelompokan

Apabila semua sampel lapisan sedimen pada semua waktu pengambilan sampel digabung menjadi satu, maka dapat dilihat adanya alterasi pengelompokan sungai berdasarkan indeks kemelimpahan relatif diatomae. Di lapisan bawah, Sungai Gung dan Banger adalah satu kelompok seperti halnya yang terjadi di lapisan atas. Akan tetapi sebenarnya, pada awalnya Sungai Gung satu kelompok dengan Sungai Pekalongan, sedangkan Sungai Banger satu kelompok dengan Sungai Banjir Kanal Barat dan Banjir Kanal Timur, sementara sebelumnya kedua Sungai Banjir Kanal tersebut satu kelompok dengan Sungai Karanggeneng. Di lain pihak, Sungai Karanggeneng dan Juana sekarang kondisinya satu kelompok dengan Sungai Banjir Kanal Barat dan Timur di masa lampau (Gambar 16).

Jika dilihat dari kehadiran spesies diatomae, maka terlihat bahwa Sungai Karanggeneng dan Juana saat ini ada dalam satu kelompok. Di masa lampau kondisi Sungai Gung serupa dengan Sungai Banger, sementara Sungai Pekalongan serupa dengan Sungai Banjir Kanal Barat dan Timur, Juana serta Karanggeneng (Gambar 17). Hal ini berarti bahwa kondisi Sungai Pekalongan saat ini telah mengalami perubahan yang drastis. Dari ANOSIM diketahui bahwa tiap perlapisan sedimen dan tiapwaktu pengambilannya terdapat perbedaan yang signifikan dengan global $R = 0,492$.

Pada sampel sedimen lapisan atas, rerata kesamaan antar sungai adalah 22,31% dan pada lapisan bawah sebesar 35,74%. Pembentukan kelompok sungai pada lapisan bawah ini ditentukan oleh *S. ulna* dan *G. lanceolatum*, masing-masing dengan ratio 1,35 dan 1,36. Komunitas diatomae pada sedimen lapisan atas dan bawah mempunyai rerata ketidaksamaan 76,48% dan spesies yang bertanggung jawab terhadap pengelompokan sungai yang terbentuk adalah *S. ulna* dan *G. lanceolatum* (Lampiran 5). Namun bila yang diperhatikan hanya kehadiran spesies diatomae, maka rerata kesamaan sungai di lapisan atas adalah 36,59, sedangkan di lapisan bawah adalah 48,33% dengan *S. ulna*, *G. lanceolatum*, *N. palea* dan *P. gibba* yang bertanggung jawab terhadap pengelompokan yang ada, masing-masing dengan ratio 5,16; 2,97; 2,29; 1,67 (Lampiran 6).

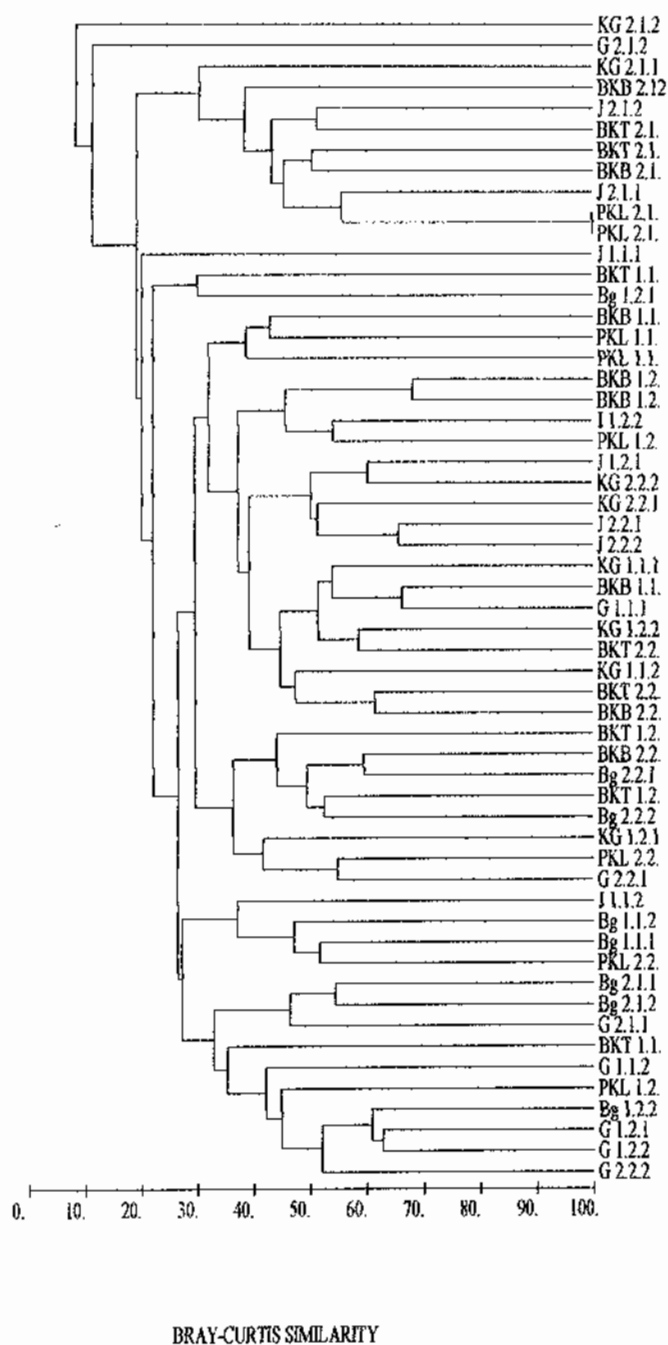
Rerata ketidaksamaan antara komunitas diatomae di lapisan atas dan bawah sedimen sebesar 65,46% dengan *N. recta*, *G. lanceolatum*, *Sellaphora bacillum*, *P. gibba* dan *Cyclotella meneghiniana* yang menentukan pengelompokan yang ada.

Dari sebelas spesies diatomae yang sangat berperan dalam pengelompokan sungai, maka setelah dilakukan analisis korelasi regresi diperoleh hasil seperti dalam Tabel 1 (untuk kualitas perairan terhadap spesies) dan Tabel 2 (untuk kualitas sedimen terhadap spesies).

Tabel 1. Korelasi antara kualitas air dengan populasi diatomae.

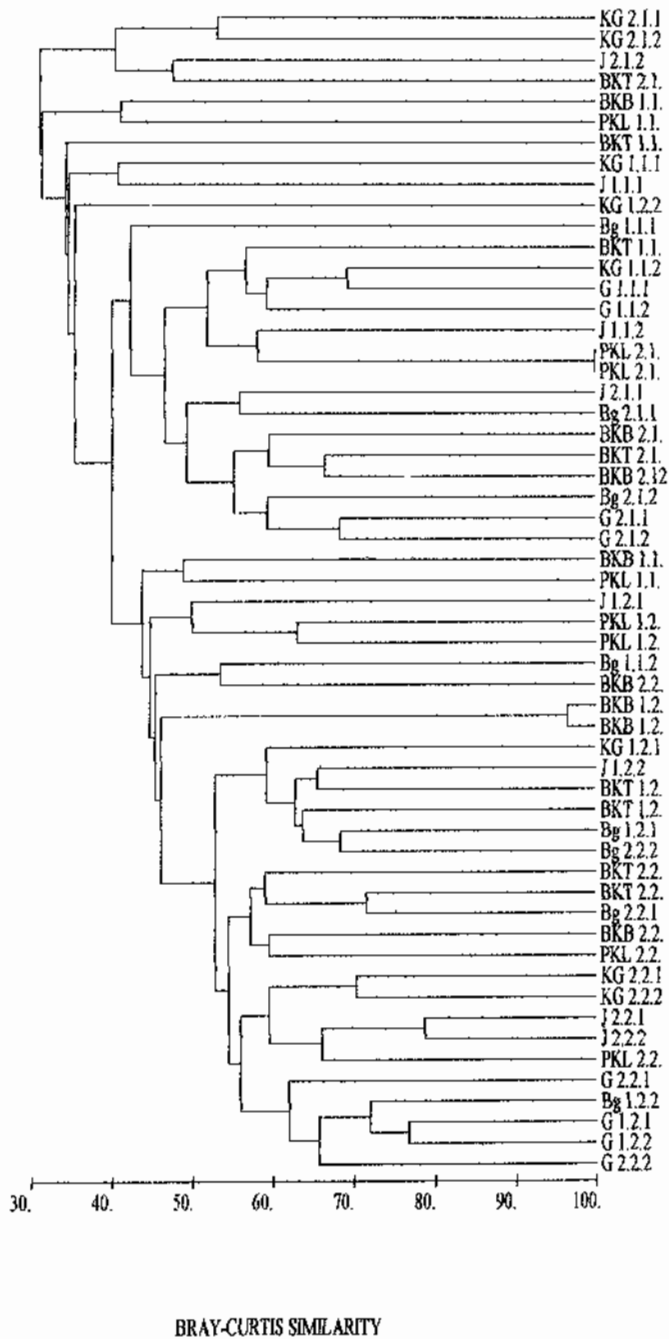
No	SPESES	KUALITAS AIR
1	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	
2	<i>Fragillaria cappucina</i>	Turbiditas (0.83; P=0)
3	<i>Fragillaria virescens</i>	DO (-0,32; P=0.99) PH (0.33; P=0.09) Konduktivitas (0.4; P=0.34) Cd (0.59; P=0.001)
4	<i>Gomphonema lanceolatum</i>	TDS (0.5; P=0.07) Cu (0.44; P=0.19) Pb (0.5; P=0.007) Kualitas air (0.49; P=0.008)
5	<i>Gomphonema ventricosum</i>	DO (0.52; P=0.005)
6	<i>Nitzschia palea</i>	PH (-0.34; P= 0.77)
7	<i>Nitzschia recta</i>	DO (-0.41; P=0.03) N (0.35; P=0.068) P (0.7; P=0)
8	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	TSS (0.42; P=0.28)
9	<i>Pinnularia gibba</i>	DO (-0.47, P=0.11) Cu (0.34; P= 0.61)
10	<i>Sellaphora bacillum</i>	DO (-0.37, P= 0.5) Turbiditas (0.53, P=0.04) F. cappucina (0.43; P=0.023)
11	<i>Synedra ulna</i>	SiO ₂ (-0.35; P=0.68)
	Semua spesies	DO (-0.48; P=0.011) Turbiditas (0.33; P=0.86) F. cappucina (0.4; P=0.037) F. virescens (0.35; P=0.66) Kualitas air (-0.32; P=.097)

DIATOM DI TOP DAN BOTTOM LAYER SEDIMEN BEBERAPA SUNGAI DI PANTUR, APRIL DAN AGU



Gambar 16. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kemelimpahan relatif diatom, pada semua perlapisan sedimen/waktu.
File:\hibah99\den99-di.cgm

DIATOM DI TOP DAN BOTTOM LAYER SEDIMEN BEBERAPA SUNGAI DI PANTUR, APRIL DAN AGU



Gambar 17. Peta pengelompokan tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berdasarkan kehadiran diatomae, pada semua perlapisan sedimen/waktu.

File:\hibah99\den99-pa.cgm

Dari Tabel 1 terlihat bahwa secara keseluruhan dengan $n=28$, kualitas air berkorelasi kesebelas populasi diatomae dengan $r=-0.32$, $P=0.097$ serta berkorelasi kuat dengan populasi *G. lanceolatum* ($r=0.49$, $P=0.008$). Hal lain yang perlu mendapat perhatian adalah adanya korelasi yang cukup kuat antara kandungan logam berat dalam air dengan populasi diatomae, seperti korelasi antara Cd dengan populasi *F. virescens* ($r=0.59$), Cu dengan *G. lanceolatum* ($r=0.44$) dan *P. gibba* ($r=0.34$) serta antara Pb dengan *G. lanceolatum* ($r=0.5$).

Kandungan silikat dalam sedimen berkorelasi dengan populasi diatomae dengan $r=0.33$ ($P=0.084$). Kandungan nitrogen dan fosfor tersedia dalam sedimen berpengaruh terhadap populasi *G. lanceolatum*, *G. ventricosum*, *P. gibba* dan *S. ulna*. Kandungan logam berat Cu berpengaruh terhadap populasi *G. lanceolatum* dan *N. palea*; Pb terhadap *G. lanceolatum*, *N. recta* dan *Sellaphora bacillum* (Tabel 2).

Tabel 2. Korelasi antara kualitas sedimen dengan populasi diatomae.

No	SPESES	KUALITAS SEDIMEN
1	<i>Cyclotella menghiniana</i>	% abu (0.88; P=0) R ² =0.92; F=0: kand air (0.028, Abu (0)
2	<i>Fragillaria cappucina</i>	R ² = 0.18; F=0.97 parsial T: Pb (0.081)
3	<i>Fragillaria virescens</i>	R ² =0.43; F=0.43 parsial T: Pb (0.018)
4	<i>Gomphonema lanceolatum</i>	Bhn organik (0.48; P=0.01) Cu (-0.35; P=0.07) Pb (-0.38; P= 0.05) R ² =0.58, F=0.10: SPDU (0.1), N (0.04), P (0.05), Cu (0.027)
5	<i>Gomphonema ventricosum</i>	SPDU (0.44; P=0.018) N (0.56; P=0.002) Kualitas sedimen (0.5; P=0.007) R ² =0.41; F=0.48, parsial: Cd(-0.031), Pb(-0.082)
6	<i>Nitzschia palea</i>	Cu (0.46; P= 0.013) R ² =0.12; F=0.29
7	<i>Nitzschia recta</i>	Kand air (-0.33; P=0.082) Bhn organik (0.43; P=0.21) Pb (-0.45; P= 0.016)
8	<i>Nitzschia sigmoidea</i>	SPDU (0.58; P=0.001) Pb (-0.45; P=0.016) R ² =0.55; F=0.15 Parsial: Cd (-0.03)
9	<i>Pinnularia gibba</i>	SPDU (0.54; P=0.003) N (-0.366; P=0.55) P (-0.39; P=0.42) Kualitas sedimen (-0.38; P=0.49) R ² =0.54; F=0.17 Parsial: SiO ₂ (0.014), Cu (- 0.031)
10	<i>Sellaphora bacillum</i>	Pb (-0.38; P=0.044) R ² =0.24; F=0.9 Parsial: kand air (-0.074)
11	<i>Synedra ulna</i>	N(0.39; P= 0.4) P (0.34; P= 0.08) Kualitas sedimen (0.38; P= 0.49) R ² =0.37; F=0.59
	Semua spesies	SiO ₂ (-0.33; P=0.084)

B. PEMBAHASAN

Hal menarik yang perlu mendapatkan perhatian adalah tingginya konsentrasi total fosfor tersedia di sungai Banger, Banjir Kanal Barat dan Timur Semarang. Pada bulan April konsentrasi total fosfor tersedia di Sungai Banjir Kanal Barat adalah 31,54 mg/L yang sudah menunjukkan kondisi eutrofik (Forsberg & Ryding, 1980), apalagi pada bulan Agustus, konsentrasi fosfor tersedia di sungai Banjir Kanal Barat sebesar 562,5 mg/L. Untuk sungai-sungai yang lain, berdasarkan total fosfor tersedianya termasuk kategori mesotrofik. Kondisi seperti ini perlu mendapatkan perhatian yang serius dan monitoring yang kontinyu mengingat dampak dari eutrofikasi yang pada tahapan tertentu akan menimbulkan problem "blooming algae" dan pada gilirannya, jika yang sangat melimpah adalah jenis yang toksik seperti *Anabaena* dan *Microcystis* yang telah diketahui mampu menginduksi timbulnya kanker akan menjadi problem yang lebih serius lagi (Cullen, 1995).

Kebanyakan kelompok Centrales lebih banyak dijumpai di habitat laut dan bersifat planktonik (Canter-Lund & Lund, 1995). Kehadiran spesies Centrales seperti *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Melosira* dan *Thalassiosira*, pada sampel sedimen di lokasi penelitian karena kandungan silikanya yang tinggi, dan kemampuannya membentuk rantai (khususnya *Aulacoseira* dan *Melosira*) menyebabkan laju ketenggelaman yang tinggi, sehingga sering menjadi marga dominan benthos (Gell *et al.*, 1999). Itu pulalah yang menjadi penyebab mengapa *Cyclotella meneghiniana* menjadi salah satu bioindikator yang diunggulkan berdasarkan penelitian ini. *Melosira* mempunyai penyebaran yang luas di perairan tawar, meskipun banyak juga dari marga ini yang dijumpai di estuari atau di laut dan bersifat planktonik, hanya *Melosira varians* yang umumnya dijumpai di air tawar dan biasanya bila populasinya melimpah berasosiasi dengan kondisi mesotrofik suatu perairan, bahkan berkorelasi dengan pencemaran organik (Soeprbowati, 1996; Gell *et al.*, 1999).

Jika Gambar 3 (kualitas air), Gambar 6-8 (kualitas sedimen) dan Gambar 13-17 (komunitas diatom) dicermati, maka ketiganya menunjukkan kecenderungan pengelompokan yang serupa. Berdasarkan kualitas air,

kandungan unsur hara dan logam berat di sedimen dan diatomae epipelik, maka dapat ditetapkan 3 kelompok:

- Kelompok I terdiri dari Sungai: Karanggeneng dan Juana
- Kelompok II terdiri dari Sungai: Banjir Kanal Barat dan Timur*
- Kelompok III terdiri dari Sungai: Gung, Banger, Pekalongan dan Banjir Kanal Timur

Dari pengelompokan yang ada tersebut jelas memperlihatkan variabilitas komunitas diatomae yang dipengaruhi oleh variabilitas lingkungan.

Untuk menampilkan hasil uji hipotesis terhadap kelompok sampel, khususnya untuk menguji perbedaan antar perlapisan sedimen dan waktu pengambilan sampel, maka dilakukan analisis similaritas (ANOSIM) satu arah. Ternyata terdapat perbedaan komunitas sedimen pada lapisan atas dan bawah dengan nilai global $R=0,247$, yang berarti kondisinya berbeda. Jika dilihat Tabel 11, maka terlihat bahwa ekosistem di lapisan bawah lebih stabil dibandingkan dengan lapisan atas. Oleh karena perbedaan tersebut, maka selanjutnya dilakukan penghitungan persentase kesamaan (similarity percentages, SIMPER). Dari analisis SIMPER, maka menurut Clarke & Warwick (1994) jenis yang mempunyai ratio lebih besar dari 1,4 merupakan spesies yang paling berperan terhadap pengelompokan yang ada dan bisa diunggulkan sebagai bioindikator kualitas perairan.

Dari analisis SIMPER yang dilakukan, maka dijumpai sebelas spesies diatomae yang umum dijumpai hidup menempel pada substrat (Canter-Lund & Lund, 1995; Gell *et al.*, 1999) dan berpotensi sebagai bioindikator kualitas air yang disebut sebagai spesies indeks diatomae. Hanya *Cyclotella meneghiniana* yang bersifat planktonik. Kesebelas spesies tersebut adalah: *Synedra ulna*, *Fragillaria cappucina*, *F. virescens*, *Nitzschia palea*, *N. recta*, *N. sigmoidea*, *Gomphonema lanceolatum*, *G. ventricosum*, *Pinnularia gibba*, *Sellaphora bacillum*, dan *Cyclotella meneghiniana*.

Round (1965) mengungkapkan bahwa *Fragillaria*, *Nitzschia* dan *Synedra* merupakan jenis yang dominan dalam komunitas diatomae epipelik yang memanfaatkan materi organik dari sedimen (Patrick, 1977). Biasanya

jenis-jenis tersebut menyukai kondisi dengan aliran yang tenang dengan intensitas cahaya yang cukup.

Synedra ulna efektif pada makroalgae dan berpotensi sebagai bioindikator kualitas perairan (Soeprbowati, et al., 1993) dengan menggunakan **blob mucilage** (Canter-Lund & Lund, 1995), merupakan jenis yang paling toleran terhadap pencemaran organik (Lange-Bertalot, 1979) dan mengindikasikan kondisi mesotrofik suatu perairan (Dixit *et al.*, 1992; Round, 1993). *Synedra ulna* berkorelasi negatif dengan kandungan silikat ($r=-0,35$) dan konsentrasi P pada sedimen ($r=0,34$, tingkat signifikansi 10%). Kenaikan konsentrasi silikat menyebabkan penurunan populasinya.

Berdasarkan data yang terbatas pada tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah dan pengambilan sampel hanya dua kali, maka dapat dibuat suatu kategorisasi (sementara) suatu perairan seperti dalam Tabel 1 di bawah ini. Pembuatan kategorisasi ini berdasarkan pada spesies yang dominan dengan kemelimpahan relatif lebih besar dari 5%, serta hasil penghitungan korelasi-regresi antara kemelimpahan relatif dengan kualitas air maupun sedimen (Tabel 1 & 2).

Tabel 3. Kategorisasi suatu perairan berdasarkan spesies dominan diatomae

KATEGORI	SPESES DOMINAN	Kemelimpahan relatif (Di)
Tingkat I: belum tercemar – tercemar ringan	<i>Cyclotella meneghiniana</i> <i>Gomphonema lanceolatum</i>	- 5% - 10%
Tingkat II: Tercemar sedang	<i>Pinnularia gibba</i> <i>Nitzschia sigmoidea</i> <i>Nitzschia recta</i> <i>Sellaphora bacillum</i>	- 10% - 25% - 30% - 30%
Tingkat III: tercemar berat	<i>Fragillaria virescens</i> <i>Fragillaria cappucina</i> <i>Gomphonema ventricosum</i> <i>Nitzschia palea</i> <i>Synedra ulna</i>	- 40% - 40% - 40% - 60% - 60%

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Variabilitas diatomae di tujuh sungai di PANTURA Jawa Tengah berkaitan dengan variabilitas kondisi lingkungan setempat.

Berdasarkan kualitas air, sedimen dan diatomae, maka tujuh sungai di daerah PANTURA Jawa Tengah dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok: Kelompok I tersusun oleh Sungai Karanggeneng dan Juana; Kelompok II oleh Sungai Banjir Kanal Barat dan Timur; Kelompok III oleh Sungai Gung, Banger, Pekalongan dan Banjir Kanal Timur*.

Berdasarkan kemelimpahan relatif diatomae dan korelasinya dengan kualitas air maupun sedimennya, maka ditetapkan 3 kategori kualitas air di daerah penelitian. Kategori Tingkat I: tidak tercemar-tercemar sangat ringan, yang dicirikan oleh *Cyclotella meneghiniana* dan *Gomphonema lanceolata*. Kategori Tingkat II: tercemar sedang, dicirikan oleh *Pinnularia gibba*, *Nitzschia sigmoidea*, *N. recta* dan *Sellaphora bacillum*. Kategori Tingkat III: tercemar berat, dicirikan oleh *Fragillaria cappucina*, *F. virescens*, *G. ventricosum*, *Nitzschia palea* dan *Synedra ulna*. Jenis-jenis tersebut dipromosikan sebagai bioindikator kualitas perairan sungai di Indonesia, yang disebut sebagai spesies indeks diatomae, khususnya di daerah PANTURA Jawa Tengah.

B. SARAN

- Kajian penelitian harus terus dilakukan, dalam wilayah yang lebih luas dan waktu (ulangan) yang lebih banyak, sehingga penentuan kategorisasi tingkat kualitas air berdasarkan spesies indeks diatomae mempunyai pijakan yang lebih kuat.
- Untuk menentukan umur perlapisan sedimen yang merekam perubahan lingkungan, maka perlu dilakukan penentuan umur ("dating") terhadap tiap perlapisan sedimen dengan metode yang tepat.
- Untuk memprediksi perubahan lingkungan yang terjadi di masa lampau, lebih baik dilakukan di perairan yang lotik, seperti danau, sehingga setiap perubahan yang terjadi terekam jelas dalam sedimen tanpa banyak terpengaruh, seperti yang terjadi di sungai.
- Perlu dilakukan uji coba pemanfaatan spesies indeks dan kategorisasi tingkat kualitas air.

VIII. DAFTAR PUSTAKA

- ANONIM (1988). Penelitian cemaran industri di Jawa tengah. BAPPEDA Tk I Jawa Tengah bekerjasama dengan balai Penelitian dan Pengembangan Industri Semarang.
- _____ (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public health Association, Washington.
- _____, (1994). Clean River Program. Evaluating the last four years and looking for future. Environmetal Impact Management Agency (BAPEDAL).
- ALLAN, D. (1995). Stream ecology, structure and fluctuation of running waters. Chapman & Hall, London.
- ARCHIBALD, R.E.M. (1972). Diversity in some South African diatom associations and its relation to water quality. *Water Research* **6**: 1229-1238.
- BRUNING, K. (1991). Effect of temperature and light on the population dynamics of the *Asterinella-Rhyzopodium* association. *Journal of Plankton Research* **13**: 707-719.
- BOLD, H. C. and WYNNE, M. J. (1985). Introduction to algae: structure and reproduction. Second edition. Prentice Hall Inc., New York.
- CAIRNS, J., and VAN DER SCHALIE, W. H. (1980). Biological Monitoring. Pt 1. *Early Warning Systems Research*, **14**: 1179-1196.
- CANTER-LUND, H. and LUND, J. W. G. (1995). Fresh water algae: their microscopic world explored. Biopress Limited, Hongkong.
- CAPBLANCQ, J. and CATALAN, J. (1994). Phytoplankton: Which and how much?. *Limnological now: A paradigm of planetary problems*. Margalef, R. Elsevier, Amsterdam: 9-31.
- CARR, M. R. (1979). Primer user manual, Plymouth Routines in multivariate ecological research. Plymouth Marine Laboratory, United Kingdom.
- CHARLES, D.F. (1985). Relationship between surface sediment diatomae assemblages and lake water characteristics in Adirondack Lakes. *Ecology*, **66**(3): 994-1011.
- CLARKE, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australia Journal Ecology* **18**:117-143
- CLARKE, K. R. and WARWICK, R. M. (1994). Chage in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, United Kingdom.
- CULLEN, P. (1995). Algal blooms in the Hawkesbury River. Report from expert seminar on algal blooms in the Hawkesbury River. Technical report 1. Hawkesbury-Nepean Catchment Management Trust, Windsor, NSW, Australia.
- DIXIT, S.S.; SMOL, J.P.; KINGSTON, J.C. and CHARLES, D.F. (1992). Diatoms: powerful indicators of environmental change. *Environmental Science and Technology* **26**(1): 23-32.

- DOWNING, J. A. and McCAULEY, E. (1992). The nitrogen:phosphorus relationship in lakes. *Limnology and Oceanography* **37**: 936-945.
- ENGSTROM, D. R. (1985). Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. *Limnology and Oceanography*, **30(7)**: 171-181.
- FERRIS, J. and VYVERMANN, V. (1996). Topical benthic diatoms in a pollution gradient associated with acid rock drainage. *International Environmental Chemistry and Ecotoxicology Conference*. Sydney.
- FORSBERG, C. and RYDING, S. (1980). Eutropication parameters an trophic states indices in 30 Swedish waste receiving lake. *Hidrobiologia* **89**:1/2, 189-207.
- GASSE, F. (1986). East African diatoms, taxonomy, ecological distribution. J. Cramer, Berlin-Stuttgart.
- GERMAIN, H. (1981). Flore des Diatomees, Diatomophycees. Societe Nouvelle des Editions Boubee, Paris.
- GELL, P.A.; SONNEMAN, J.A.; REID, M.A.; ILLMAN, M.A. and SINCOCK, A.J. (1999). An illustrated key to common diatom genera from Southern Australia. Cooperation Research centre for freshwater Ecology Identification Guide No. 26, Thurgoona, NSW.
- HART, B.T.; MAHER, B. and LAWRENCE, I. (1998). Ecological risk-based management of water quality. *Paper presented in the International Conference on Water Quality and Waste Treatment, 22-24 October 1998, University of Mataram, Lombok*
- HARPER, D. (1992). Eutrophication of freshwaters: principles, problems and restorations. Chapman & Hall, New York.
- HEMPHILL-HALEY, E. (1995). Diatomae evidence for earthquake-induced subsidence and tsunami 300 year ago in southern coastal Washington. *Geological Society of America Bulletin, March 1995*.
- HOLLAND, J. and CLARK, R. L. (1989). DIATOMAE of Burrinjuck Reservoir, New South Wales, Australia. Division Report 98/1, CSIRO, Institute of Natural Resources and Environment, Division of Water Resources, New South Wales.
- HOROWITZ, A. J. (1990). Variations in suspended sediments and associated trace element concentrations in selected riverine cross sections. *Environmental Science Technology*, **24**: 1313-1320.
- JOHN, J. (1996). Diatomae assemblages - ideal monitors of secondary salinization of wetlands. Abstract *INTECOL'S International Wetlands Conference 1996, Perth 22-28 September 1996*. Murdoch University, Perth, Western Australia.
- KUDOH, S. and TAKAHASHI, M. (1992). An experimental test of host population size control by fungal parasitism in the planktonic diatomae *Asterionella formosa* using mesocosms in a natural lake. *Archiv fur Hydrobiologie* **124**: 293-307.
- LANGE-BERTALOT, H. (1979). Pollution tolerance as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia, Beiht* **64**: 285-304.
- LOWE, R.L. and PAN, Y. (1996). Benthic algae communities as biological indicators. *Algae ecology: Freshwater benthic ecosystems*. STEVENSON, R.J. (ed). Academic Press, California.

- MANN, K. H. (1993). Organisms and ecosystems. *Fundamental of Aquatic Ecology*. BARNES, R. S. K. and MANN, K. H. Blackwell Scientific Publications, Melbourne: 3-28.
- MOSS, B. (1991). Ecology of freshwaters: man and medium. Second edition. Blackwell Scientific Publications, Boston.
- NOMBORO, A. L. (1996). Diatomae as indicators of water quality of the Canning River. Abstract *INTECOL'S International Wetlands Conference 1996, Perth 22-28 September 1996*. Murdoch University, Perth, Western Australia.
- NYBAKKEN, J. (1988). Biologi Laut. Gramedia, Jakarta.
- PATRICK, R. (1977). Ecology of Freshwater Diatomae and Diatomae Communities in *The Biology Diatomae*, Dietrich Werner (ed), University of California Press, Berkeley and Los Angeles.
- _____ (1994). What are requirements for an effective biomonitor ? *Biological monitoring of aquatic ecosystems*. LOEB S. L. and SPACIE, A. Lewis Publishers, London: 23-30.
- PRYGIEL, J. and COSTE, M. (1993). The assesment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatomae indices. In *Twelft International Diatomae Symposium*, H. van Dam (ed). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- RAMADE, F. (1995). Estimation of damage to ecosystems. *Methods to assess the effects of chemicals on ecosystems*. LINTHRUST, R. A.; BOURDEAU, P. AND TARDIFF, R. G. John Wiley & Sons, Chichester: 381-394.
- REYNOLDS, C. S. (1990). The ecology of freshwater phytoplankton. Third edition. Cambridge University Press, New York.
- _____ (1993). Swings and roundabouts: Engineering the environment of algal growth. *Urban waterside regeneration, problems and prospects*. White, K. N. *Et al.*, Ellis Horwood: 330-349.
- _____ (1993). *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*, Cambridge University Press, Cambridge
- _____; WISEMAN, S. W.; GODFREY, B. M. and BUTTERWICK, C. (1983). Some effects of artificial mixing on the dynamics of phytoplankton in large limnetic enclosures. *Journal of Plankton Research* 5: 202-235.
- ROOT, M. (1990). Biological Monitors of Pollution. *Bioscience*, 40: 83-86.
- ROUND, F. E. (1987). *The Biology of The Algae*, Edward Arnold (Publisher) Ltd.
- _____ (1993). A review and methods for the use epilithic diatomae for detecting and monitoring changes in river water quality 1993. *Methods for examination of water and associated material*. HMSO Books, London.
- SABATER, S.; SABATER, F. and TOMAS, X. (1987). Water quality and diatom communities in two Catalan Rivers. *Water Research* 21(8): 901-911.
- SEIP, K. L. (1991). The ecosystem of a mesotrophic lake-1. Simulating plankton biomass and the timing of phytoplankton blooms. *Aquaculture Science* 53: 239-262.

- SOEPROBOWATI, T. R. (1996). Phytoplankton communities in South Creek, New South Wales, Australia. Thesis for degree of Master of Applied Science-Environmental Science, University of Western Sydney-Hawkesbury, Australia.
-
- _____ ; SUGONDO, H. dan HARIYATI, R. (1993). Studi kemungkinan pemanfaatan alga film sebagai salah satu bioindikator pencemaran lingkungan perairan di Teluk Awur Jepara. *Majalah Penelitian: VII(18)*, edisi Januari 1993: 45-48, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro Semarang.
-
- _____ ; HARIYATI, R.; UTAMI, S.; HADI, M. dan HIDAYAT, J. W. (1994). Pengaruh limbah pabrik tekstil PT. SANDRATTEX Semarang terhadap komunitas plankton. Laporan Hasil Penelitian, Badan Pengelola MIPA, Universitas Diponegoro Semarang.
-
- _____ ; SUGONDO, H. ; HENDRARTO , I. B.; SUMANTRI, I. and TOHA, B. (1998a). Diatoms as bioindicator of water quality. *Paper presented in the International Conference of Water Quality and Waste Treatment, Lombok 19 - 22 October 1998*
-
- _____ ; HIDAYAT, J. W. dan BASKORO, K. (1998b). Komunitas Diatomae epipelik di muara sungai Banjir Kanal Barat dan Babon Kodya Semarang. *Majalah SAINS DAN MATEMATIKA, Nomor(9): 14*, edisi Biologi, Oktober 1998, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro, Semarang.
-
- _____ ; SUGONDO, H. ; HENDRARTO , I. B.; SUMANTRI, I. and TOHA, B. (1999a). The potential used of diatom as bioindicator of water quality: part 1. *Journal Coastal Developemnt 2(2): 377-388*.
-
- _____ ; SUGONDO, H. ; HENDRARTO , I. B.; SUMANTRI, I. and TOHA, B. (1999b). Biomonitoring method: diatoms asbioindicator of water quality. *Paper presented in the 2nd Germany-Indonesia Symposium on Environmental Monitoring and Specimen Bank. 26-29 October 1999*, Reseach and Development Centre of Advanced Technology, National Nuclear Energy Agency. Yogyakarta
- SOMMER, U. (1985). Seasonal succession of phytoplankton in Lake Constance. *Bioscience 35: 351-358*.
- STEVENSON, R. J.; PAN, Y.; SWEETS, P. R. and VANDERBORG, D. M. (1996). Algal community patterns in wetlands and their use as indicators of ecological conditions. *Abstract INTECOL'S International Wetlands Coference 1996, Perth 22-28 September 1996*. Murdoch University, Perth, Western Australia.
- SUPRAPTI, N. H.; SOEPROBOWATI, T. R. dan SUPRIHARYONO. (1993). Studi kemungkinan pemanfaatan perifiton sebagai bioindikator pencemaran logam berat Cu dan Pb di Sungai Kaligarang Lingkungan Industri Semarang. Laporan Hasil Penelitian, Puslit Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang.
-
- _____ ; SUGONDO, H. dan SOEPROBOWATI, T. R. (1995). Uji keandalan perifiton sebagai bioindikator pencemaran organik perairan di Lingkungan Industri Semarang, Fakultas MIPA, Universitas Diponegoro, Semarang.

- SURYAWIRNA, U. (1991). Mikrobiologi Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- SZE, P. (1993). A Biology of The Algae, Wm. C. Brown Publisher, Dubuque, Iowa
- TANJUNG, H. and TANJUNG S.J. (1997). Bioindicator in Indonesia. *Proceedings of Indonesia-German symposium on Environmental Monitoring and Specimen Bank*. ROSSBACH, M. and TAFTAZANI, A. (eds). International cooperation, Scientific series Vol 41, Forschungszentrum Julich.
- TILMAN, D.; KILHAM, S. S. and KILHAM, P. (1982). Phytoplankton ecology: The role of limiting nutrients. *Annual Review Ecology and Systematic* 13: 349-372.
- TILZER, M. M. (1983). The important of fractional light absorption by photosynthetic pigments for phytoplankton productivity in Lake Constance. *Limnology and Oceanography* 28: 833-846.
- VAN DAM, H. and MERTENS, A. (1993). Diatoms on herbarium macrophytes as indicators water quality. In *Twelfth International Diatoms Symposium*. H. van Dam (ed). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- VAN DONK, E. and BRUNING, K. (1995). Effects of fungal parasites on planktonic algae and the role of environmental factors in the fungus-alga relationship. *Algae, environment and human affairs*. WIESSNER, W.; SCHNEPF, E. and STARR, R. C. Biopress Limited, Bristol: 223-234.
- VOS, P. C. and WOLF, H. (1993). Diatoms as A Tool for Reconstructing Sedimentary Environment in Coastal Wetlands, Methodological Aspect in *Twelfth International Diatoms Symposium*, Van Dam, H. (ed), Kluwer, Academic Publishers, Netherland.
- WEBBER, H. H. and THURMAN, H. V. (1991), Marine Biology , Second Edition, Harper Collins Publisher, Inc, New York.
- WETZEL, R. G. and LIKENS, G. E. (1991). Limnological Analysis. 2nd ed. Springer Verlag, New York.