

**INDEKS BIOTIK TINGKAT FAMILY:
UPAYA AWAL PENYUSUNAN INDEKS BIOTIK UNTUK
SUNGAI TROPIS INDONESIA**

*(Family Biotic Index:
Preliminary Establishment of Biotic Index for Indoensian Tropical Stream)*

Sri Puji Saraswati

Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil & Lingkungan,
Fakultas Teknik UGM; Pusat Studi Lingkungan Hidup UGM.
spswatinz@yahoo.com

Diterima : 3 Agustus 2009

Disetujui: 14 September 2009

Abstrak

Suatu indeks biotik dicoba dikembangkan untuk sungai tropik di Indonesia, dengan menggunakan uji penelitian di sungai Gajahwong di Yogyakarta. Variabel lingkungan yang diperoleh pada musim kemarau dan musim hujan diklasifikasikan berdasarkan lokasi sampel menurut "penurunan gradien" di sumbu 1 dan sumbu 2 dari Analisis Komponen Utama (*Principle Component Analysis*). Tiga metode analisis digunakan untuk menghasilkan indeks biotik makroinvertebrata/ makrobenthos yang ada di sungai yang dipengaruhi oleh limbah rumah tangga dan industri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks biotik yang disusun dapat digunakan sebagai indikator yang baik untuk merefleksikan kondisi habitat di sungai yang diteliti dan memberikan nilai korelasi yang baik dengan indeks lain yang menggunakan identifikasi tingkat famili.

Kata kunci : indeks biotik, makroinvertebrata, Analisa Komponen Utama

Abstract

A biotic index was tried to be developed for Indonesian tropical stream, taking as a test case Gajahwong Stream in Yogyakarta. Environmental variables investigated in dry season and rainy season are classified based on the sampling sites according to decreasing gradient in axis 1 and axis 2 of Principal Component Analysis. Three metrics were used to derive the tolerance value of macroinvertebrates assemblages in stream affected by municipal and industrial waste. The result showed that the tolerance values derived is a good indicator in reflecting the habitat condition in the study stream and have good relationship to the other index of family level identification.

Keywords : biotic index, macroinvertebrates, Principal Componen Analysis

PENDAHULUAN

Kualitas biologi sungai sudah banyak dikaji dengan menggunakan berbagai indeks (Hellowell, 1986, Cairns and Pratt, 1993). Beberapa peneliti membuktikan bahwa indeks biotik tertentu terbukti terkait langsung dengan lingkungan yang dikaji sehingga

dapat menggambarkan kualitas biologi perairan (Zamora Munoz and Tercedor, 1996), meskipun peneliti lain (Hellowell, 1986, Norris and Georges, 1993) menyarankan untuk menggunakan beberapa indeks agar bisa merefleksikan problem lingkungan dengan lebih baik. Sebagian besar indeks biotik tersebut dikembangkan secara empiris di Eropa atau

Amerika (Norris and Georges, 1993) dengan pendekatan analisis data secara kuantitatif dan semikuantitatif (Wright et al, 1984, Moss et al, 1987, Ormerod and Edwards, 1987, Lenat, 1993) maupun kualitatif ((Hellawell,, 1986, Martin, 2004). Penggunaan indeks tersebut khususnya yang berdasarkan data kualitatif, termasuk dalam pendekatan kajian biologi secara cepat/*rapid bioassessment approach* (Rosenberg and Resh, 1993), telah banyak digunakan secara luas oleh peneliti lokal dalam kajian habitat atau kajian-kualitas air sungai di Indonesia.

Tentunya penggunaan indeks ini patut diragukan, apakah indeks yang sama dapat diaplikasikan dengan baik di Indonesia mengingat beberapa fauna secara tipikal berbeda dengan kondisi lingkungan keairan di negara bermusim dingin (Payne, 1986, Dudgeon, 1999).

Dalam penelitian ini, akan dikembangkan indeks biotik yang merangkum informasi lingkungan tentang indeks biotik suatu makrobenthos yang ada di sungai yang menerima limbah dari pemukiman dan industri. Analisis Komponen Utama digunakan untuk mengklasifikasikan lokasi sampel menurut data fisik-kimia dan menyederhanakan struktur dan dimensi variabel kualitas airnya untuk membantu menginterpretasikan data. Tiga metode digunakan dalam menyusun indeks biotik yang diteliti dan BMWP (Biological Monitoring Working Party) atau indeks biotik BMWP terkoreksi tingkat identifikasi famili (Martin, 2004) dipilih untuk dibandingkan dengan 3 jenis indeks biotik yang disusun tersebut.

LOKASI PENELITIAN

Terdapat tiga daerah aliran sungai di Propinsi DIY yaitu Serang, Progo dan Opak. Sungai Gajahwong, sungai yang diteliti merupakan anak sungai dari Sungai Opak. Semua sungai mengalir kearah selatan ke Samudra Hindia dengan kemiringan 0 – 4° (0,011). Sungai Gajahwong dengan panjang

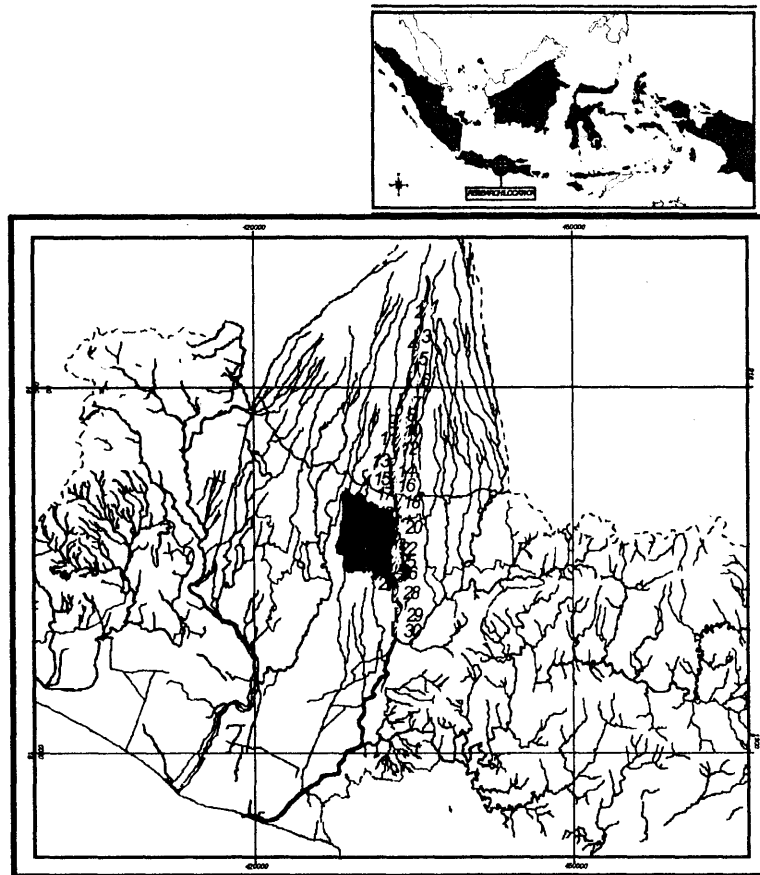
± 33,265 km dengan luas daerah tangkapan air sekitar 65,163 km². Tiga puluh lokasi sampel di sungai Gajahwong terletak mulai dari hulu 60,745 km sampai kira-kira 31,01 km dari muara (atau 3 km di hulu pertemuan airnya dengan sungai Opak) dengan rerata kemiringan 0,016. (lihat Gambar 1). Debit sungai tergantung musim dan mata air sungai. Kondisi geologi dan geomorfologi dari sistem sungai ini memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi sebagai hasil sediment vulkanologi yang tidak terkonsolidasi, dari gunung Merapi yang terletak di hulu sungai. Kondisi hujan di sungai Gajahwong berdasarkan data hujan tahun 1991 -1998 di 5 stasiun bervariasi antara 3 – 23 mm/hari dalam musim hujan dan 0 – 6 mm/hari di musim kemarau. Musim hujan terjadi pada bulan November – April, dan musim kemarau Mei – Oktober (Saraswati, 2000). Hujan tertinggi di musim hujan 2004-2005 tercatat 110 mm/jam berlangsung lebih dari 3.5 jam ((Kompas, February 24th 2005).

Polusi di Sungai Gajahwong

Ada banyak sumber polutan ke sungai dari sumber “*point*” dan “*non point*”, termasuk di dalamnya irigasi pertanian, pembuangan limbah pemukiman, industri makanan skala rumah tangga, pabrik susu dan pabrik kulit (selatan daerah aglomerasi, di Kabupaten Bantul, di lokasi 14, 21, 23, 24 dan 28) sementara di bagian hulu (Kabupaten Sleman, di lokasi 1 -17) dari pertanian, pemukiman, peternakan ayam (Gambar 2). Air sungai ini ternyata juga digunakan untuk keperluan domestik seperti rumah tangga, irigasi, perikanan dan penggelontor saluran limbah.

Terdapat banyak bendung di sungai mulai dari hulu hingga hilir, dan perubahan lahan dari pertanian ke pemukiman sangat intensif. Beberapa bagian sungai rendah dan sering terjadi banjir saat intensitas hujan tinggi, area tersebut di lokasi 19 – 20 dan lokasi 26 – 27. Kondisi tipikal beberapa lokasi studi seperti tersaji dalam Gambar 2.

Sebagian daerah di daerah tangkapan air sungai Gajahwong difasilitasi dengan saluran



Gambar 1. Lokasi penelitian (30 titik) di sungai Gajahwong, DIY, Indonesia

drainase dan sistem saluran air limbah, dan sebagian air limbahnya diolah di Instalasi Pengolahan Air Limbah Terpadu, Sewon Kabupaten Bantul (YUIMS, 1999). Ke hilir sungai (ke arah selatan) banyak terjadi konversi lahan pertanian menjadi pemukiman, oleh karenanya banyak titik-titik buangan limbah dan drainase ke sungai.

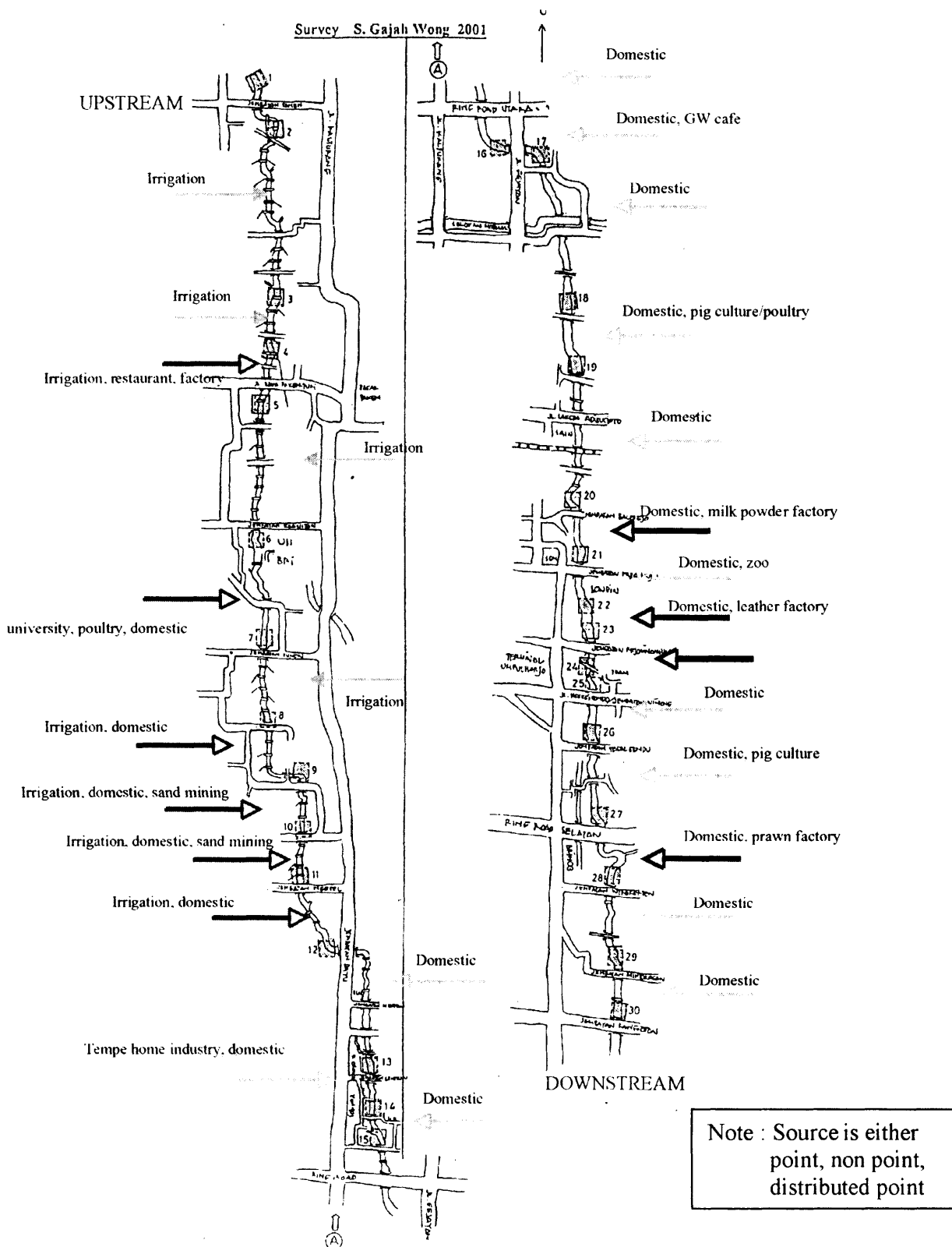
Walaupun pemerintah setempat telah mendeklarasikan sungai ini sebagai salah satu target PROKASIH sejak tahun 1991, polusi tetap berlangsung. Nilai variabel kualitas air rerata bulanan pada musim hujan 1998-1999 bervariasi antara 4 – 5 mg/l untuk DO dan 10 – 20 mg/l untuk kualitas COD di bagian hulu sungai (lokasi 1 – 16); sementara itu konsentrasi DO 3 – 4 mg/l dan konsentrasi COD 20 – 40 mg/l di bagian tengah sungai (lokasi 17 – 27); sedangkan di bagian hilir sungai yaitu lokasi

27 konsentrasi DO 4 – 5 mg/l dan COD 15 – 20 mg/l dan saat ini kurang lebih tetap sama (Bapedalda, 1999).

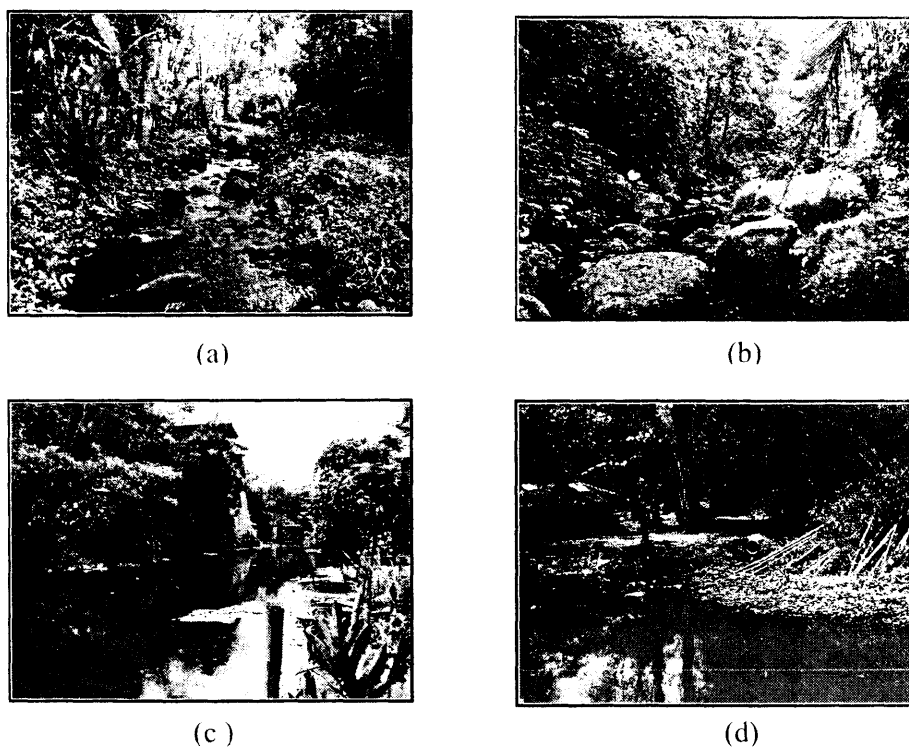
METODE

Metode Pengambilan Sampel Kualitas Air Survei Lapangan

Sampel air sungai di kumpulkan dari 3 musim: musim kemarau 2002 (Agustus – November 2002), musim hujan Desember 2002 – April 2003 dan musim kemarau Juli – Oktober 2003 di 30 lokasi pengambilan sampel makrobenthos. Intensitas hujan harian rerata terukur di stasiun hujan Kempud, Prumpung, Santan, Karangploso, Tanjungtirto pada musim kemarau pada umumnya kurang dari 5 mm/hari sementara intensitas hujan harian rerata pada musim hujan \pm 10 mm/hari (Anugrah, 2006).



Gambar 2 . Sumber polusi di Sungai Gajahwong



Gambar 3. Kondisi lingkungan beberapa lokasi sampel penelitian (a) di hulu di lokasi 3, (b) bagian tengah di lokasi 16, (c) hilir di lokasi 25, (d) lokasi rawan banjir di lokasi 26 - 27

Sampel air dianalisis untuk parameter dasar kualitas air yaitu suhu, pH, daya hantar listrik (EC/ Electric Conductivity), oksigen terlarut (DO), kekeruhan, dan COD, menurut standar nasional Indonesia (SNI, 1989) yang selaras dengan Standar Metode Analisis Air Amerika (APHA, 1998). Sebanyak 1000 ml air diambil dari setiap lokasi sampel bersama-sama dengan pengambilan 3 botol DO berukuran 125 ml. Untuk memperoleh nilai rerata kualitas air dan untuk meneliti variabilitas data, pengambilan sampel harian dilakukan dengan 3 kali ke lapangan dalam setiap musim. Pengukuran langsung di lapangan dilakukan untuk suhu udara dan air dengan menggunakan thermometer, pH dan daya hantar listrik dengan HACH CO150. Pengambilan sampel di 30 lokasi berlangsung dari pukul 07.00 hingga pukul 17.00. Debit, kedalaman, lebar dan kecepatan air diukur di 3 titik di setiap lokasi sampel selama hari pengambilan sampel.

ANALISIS LABORATORIUM

DO di analisis dengan metode yodometric (*azida modification*) sesuai SNI yang diadopsi dari metode Wrinkler dari Standard Method (APHA, 1998). Kekeruhan (*turbidity*) diukur menggunakan Lamotte 2020 sementara COD di analisis dengan metode *titrimetric* menggunakan larutan standar KMnO_4 . Selama di analisis di laboratorium, sampel disimpan dalam lemari pendingin ($\pm 4^\circ\text{C}$).

Sampel Makroinvertebrata

Data makrobenthos dikumpulkan dalam 3 musim, pada bulan Oktober untuk akhir musim kering 2002 (curah hujan harian rerata harian bulan Oktober $\pm 0,5$ mm/hari), bulan April untuk akhir musim hujan 2002/2003 (curah hujan harian rerata bulan April ± 6 mm/hari) 2003 dan bulan September untuk musim kemarau 2003 (curah hujan harian rerata bulan

September < 0,5 mm/hari).

Sampel invertebrata dasar sungai di kumpulkan di setiap lokasi sampel, di areal 10 m ke hulu dan 10 m ke hilir dari titik pengambilan sampel air. Pada setiap lokasi pengambilan sampel mengikuti pola Z, 4 *surveyor* mengutip batu secara random dan makrobenthos dikumpulkan dengan menggunakan kuas cat kemudian disimpan dalam botol polyvinyl Ø 2.5 cm yang berisi 70% ethanol. Sementara memungut batu kerakal alat "surber" (0.09 m², 500 um mesh) diletakkan di bagian hilir segmen lokasi pengambilan sampel untuk menjaring makrobenthos lain. Invertebrata yang terjaring dikumpulkan bersama dalam 4 botol sampel. Lama pengambilan sampel di lapangan 20 menit untuk setiap lokasi dengan 4 *surveyor*. Di lokasi di mana dasar sungai berupa substrat didominasi pasir dan lumpur dengan sedikit kerikil dan kerakal, sampel diambil menggunakan *weighted bottom sampler* (30 cm long, 30 cm Ø home made sampler which adopt the Eickman grab sampler) dan sediment net Ø 30 cm. Semua sampel disimpan dalam ethanol 70% dan diidentifikasi di laboratorium sampai taxa serendah mungkin, genera dari famili dengan binokuler lapangan Nikon (Fabre mini).

ANALISIS DATA

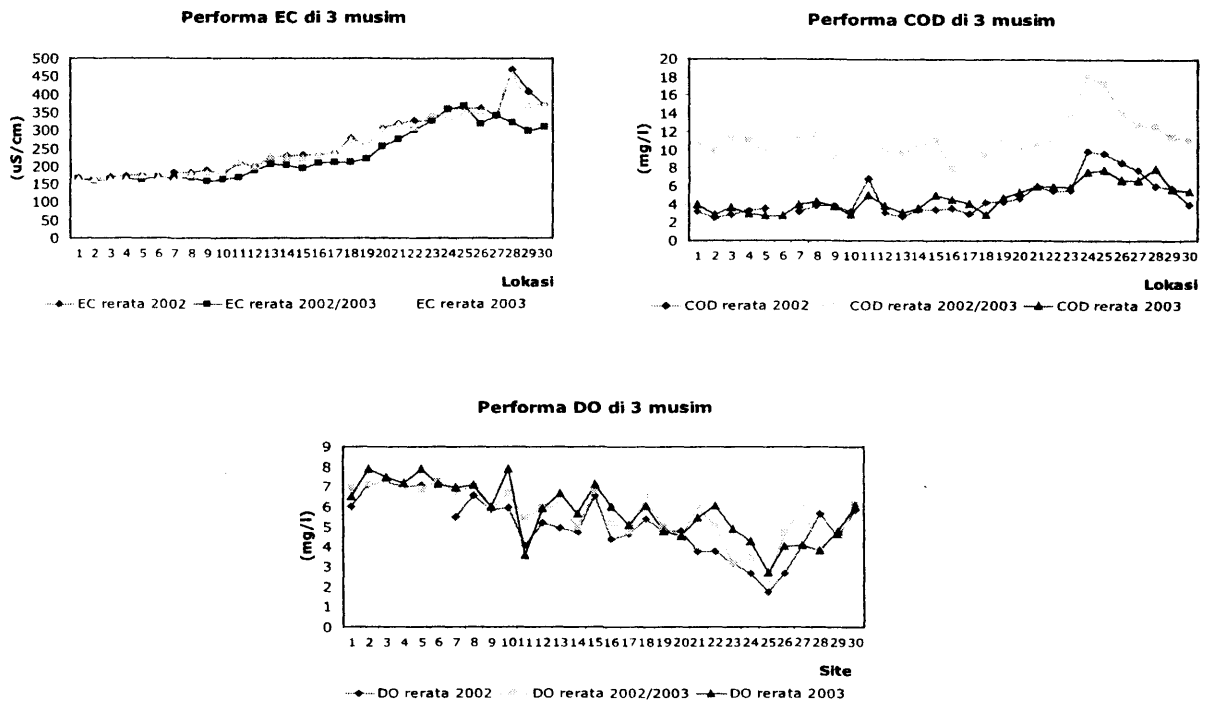
Rerata dan standard deviasi dari parameter kualitas air di setiap lokasi dalam 3 musim penelitian dihitung seperti disajikan dalam Gambar 4. Analisis Komponen Utama (PCA) digunakan untuk mengevaluasi variasi total dan mengidentifikasi gradient lingkungan mayor. Rerata variabel kualitas air di transformasi dan matriks covarian digunakan untuk menstandarisasi data dan meminimalkan variasi yang disebabkan oleh perbedaan skala kualitas air. Sebelum analisis multivariate dilakukan, data lokasi 6 dikeluarkan dari data musim kemarau 2002 karena tidak terdapat air di lokasi tersebut, kemudian data diuji multikolinearitas untuk 89 unit sampel. Interpolasi linear digunakan untuk melebarkan nilai sumbu-1 Komponen Utama (Principal Component)

menjadi rentang skala 1 – 10 nilai/skor kualitas air untuk menyusun indeks biotik untuk beberapa famili yang ditemukan berjumlah sekurang-kurangnya 10 individu famili.

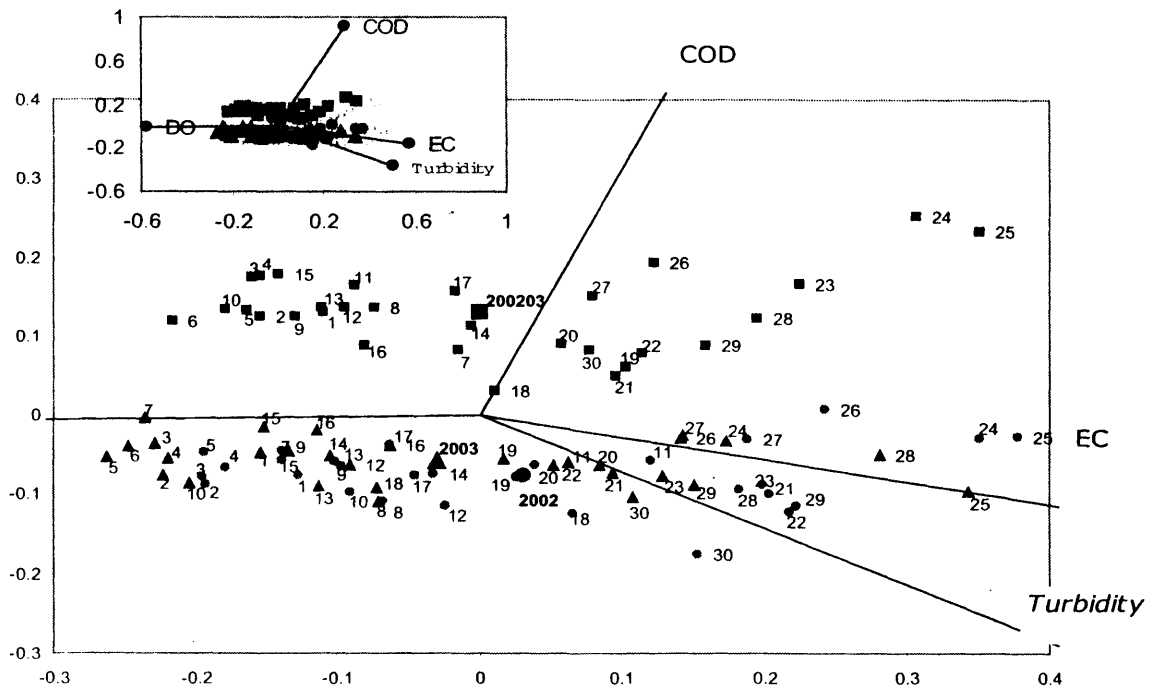
Untuk memperkirakan indeks biotik makrobenthos, digunakan data keberadaan/tidaknya (*presence/absence data*) dan kelimpahan relatif (*relative abundance*) juga jumlah individu dasar (*raw individual numbers*). Famili dengan intoleran polutan mempunyai skor tinggi dan famili dengan toleran polutan mempunyai nilai skor rendah. Pengukuran indeks polusi di setiap lokasi sampel berdasarkan ketiga metode perhitungan indeks biotik digunakan untuk menghitung indeks biotik. Kondisi/performa indeks selanjutnya akan dibandingkan dalam hal kemudahan aplikasinya dan keakuratan mendeteksi dampak dari kondisi lapangan yang ada, sebagai suatu cara/alat untuk mengkaji kualitas perairan sungai (*stream water quality assessment*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Di awal analisis PCA, 2 sumbu pertama mampu menjelaskan lebih dari 85% dan sumbu 1 nya dapat menjelaskan lebih dari 70% variabel lingkungan nya dan COD, daya hantar listrik (*Electric conductivity/EC*) dan kekeruhan (*turbidity*) mempunyai nilai positif yang signifikan di sumbunya. "Negatif loading" dipresentasikan oleh DO di sumbu 2. Analisis PCA digunakan untuk memposisikan kelompok lokasi sampel terhadap 3 musim kondisi perubahan variabel kualitas air/lingkungan. Gambar 5 menyajikan sumbu 1 dan sumbu 2 analisis PCA dan plot dari lokasi-lokasi sampel yang terklaster mengikuti urutan penurunan kualitas air sepanjang gradien sumbu 1. Dua sumbu pertama PCA menunjukkan 81.70% varian, dengan 59.01% menjelaskan varian di sumbu 1. Variabel EC dan kekeruhan (*turbidity*) memiliki "positive loading" yang signifikan pada sumbu 1 sementara DO mempunyai signifikan "negative loading". Loading yang signifikan pada sumbu 2 merepresentasikan gradien positif kenaikan COD.



Gambar 4. Performa EC, COD dan DO pada 3 musim data penelitian



Gambar 5. Biplot dari variabel kualitas air di 30 lokasi sampel, pada 3 musim observasi

Koefisien struktur dari variabel kualitas air yang terukur pada 2 sumbu pertama PCA disajikan dalam Tabel 2. Koefisien struktur adalah hubungan antara nilai asli/awal variabel dan komponen utama. Gambar 6 menunjukkan kondisi kualitas air di 3 musim observasi, yang ditunjukkan dengan data skor kualitas air dari sumbu 1 PCA, dengan nilai rerata skor kualitas air adalah 6.31 ± 2.30 di mana pada musim kemarau 2002 data lokasi sampel 6 dikeluarkan dari analisis karena di lapangan tidak ada air.

Sebagai prosedur awal untuk menurunkan indeks biotik, skor kualitas air dihitung dari 89 lokasi sampel dalam 3 musim observasi dengan sumbu 1 PCA. Rentang skor sampel adalah - 0,1708 sampai 0,2462 ditransformasi ke rentang nilai 10 – 1 skor kualitas air dengan interpolasi linear. Skor kualitas air 10 – 1 menunjukkan urutan kualitas air jelek, cukup,

rerata, baik dan sangat baik. Indeks biotik setiap taxa, kemudian dihitung, yang mengubah data invertebrata dan skor kualitas air dari setiap lokasi sampel dengan menggunakan 3 sistem/ metode hitung.

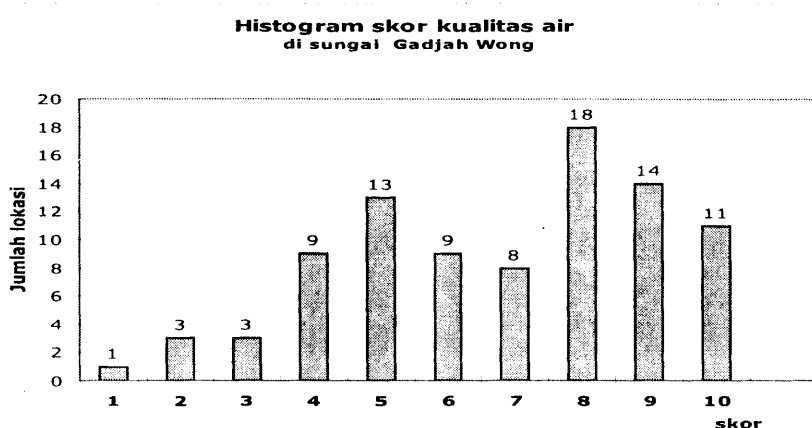
Metode hitung di aplikasikan ke identifikasi tingkat famili dan famili yang jarang dikeluarkan dari hitungan. Cara pertama adalah cacah individu dasar (*raw individual number*) dari taxa yang ada, dengan menggunakan rumus

$$T_i = \sum_j (N_{ij} \cdot S_j) / \sum_j N_{ij} \dots\dots(1)$$

Dengan T_i adalah indeks biotik dari taxa ke i , N_{ij} adalah kelimpahan of taxa ke i pada lokasi j , S_j adalah skor sampel kualitas air di lokasi j yang dihitung sumbu 1 PC, $\sum_j N_{ij}$ adalah jumlah cacah individu famili (*the total number of individual families*) yang terdapat di semua lokasi.

Tabel 1. Koefisien stuktur dari variabel yang diukur, untuk 2 komponen pertama PCA

Variabel	Axis 1	Axis 2
EC	0,57395	-0,159497
COD	0,294534	0,917903
DO	-0,569423	-0,010934
Kekeruhan	0,509498	-0,363173
Total varian	59,01%	22,686%



Gambar 6. Kondisi kualitas air fisik/kimia di sungai Gajahwong selama 3 musim observasi, yang sajikan dalam data skor kualitas air yang dihitung dengan sumbu 1 PCA

Cara ke dua adalah distribusi dan kelimpahan relatif dari individu yang ada (*relative abundance of individuals present*), dengan rumus

$$T_i = (\sum_j (N_{ij} / \sum_j N_{ij}) \cdot S_j) / \sum_j (N_{ij} / \sum_j N_{ij}) \dots (2)$$

Dengan T_i adalah indeks biotik dari taxa ke i , $N_{ij} / \sum_j N_{ij}$ adalah kelimpahan relatif (*relative abundance*) dari taxa ke i di lokasi j , S_j adalah skor sampel kualitas air di lokasi j yang dihitung dengan sumbu 1 PC. $\sum_j (N_{ij} / \sum_j N_{ij})$ adalah total kelimpahan relatif di semua lokasi sampel

Cara ke tiga adalah berdasarkan pada kehadiran/ ketidakhadiran (*presence/absence*) dari makroinvertebrata dengan memberi skor 1 untuk kehadiran dan 0 ketidakhadiran. Rumusnya adalah

$$T_i = \sum_j (A_{ij}) \cdot S_j / \sum_j A_{ij} \dots (3)$$

Dengan T_i adalah indeks biotik dari taxa ke i , A_{ij} adalah kehadiran (=1) dan ketidakhadiran (=0), $\sum_j A_{ij}$ adalah jumlah skor kehadiran dan

ketidakhadiran.

Tiga jenis indeks biotik disajikan dalam table 2 dengan standard deviasi berbagai famili berkisar antara -,31 – 0,55 untuk metode kelimpahan mutlak (*number of abundance*), 0,27 – 0,60 untuk metode kelimpahan relative (*relative abundance*) dan 0,66 - 2,00 untuk metode keberadaan (*presence/absence*) taxa.

Kualitas habitat di setiap lokasi sampel disajikan dalam sebuah indeks biotik dan dihitung menggunakan masing-masing indeks biotik tersebut di atas, dengan rumus

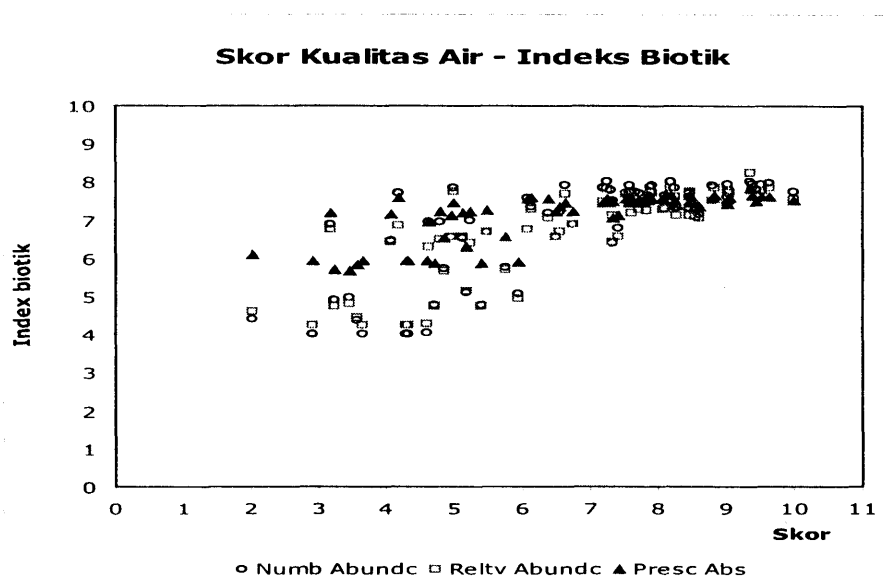
$$B_j = \sum_i (T_{ij} \cdot N_{ij}) / \sum_i N_{ij} \dots (4)$$

Dengan B_j adalah indeks biotik di lokasi j , T_i adalah indeks biotik dari taxa ke i di lokasi j , N_{ij} adalah kelimpahan cacah individu dari taxa i di lokasi j dan $\sum_i N_{ij}$ adalah total cacah famili individu di lokasi j

Performa indeks kemudian dibandingkan, dengan menyajikan nilai indeks biotik dari semua titik lokasi sampel yang direpresentasikan dengan skor kualitas air (Gambar 7).

Tabel 2. Indeks biotik yang dihitung berdasarkan (a) cacah individu (b) kelimpahan relatif, dan (c) keberadaan (*presence/absence*) taxa

Ordo	Family	Total number	Total sites		T		T		T		BMWP/REVISED BMWP
			appeared	absent	Raw indiv numb	Relative Abundc	Pres/Abs				
Diptera	Chironomidae	989	35	54	4.009 ± 0.468	4.235 ± 0.488	5.918 ± 2.004	2 / 3.7			
Ephemeroptera	Baetidae	682	46	43	7.502 ± 0.450	7.514 ± 0.450	7.457 ± 1.751	4 / 5.3			
Ephemeroptera	Caenidae	388	40	49	7.524 ± 0.546	6.867 ± 0.580	7.479 ± 1.719	7 / 7.1			
Ephemeroptera	Ephemerellidae	253	29	60	7.442 ± 0.468	7.353 ± 0.476	7.779 ± 1.360	10 / 7.7			
Ephemeroptera	Heptageniidae	346	38	51	8.413 ± 0.381	8.318 ± 0.371	8.003 ± 1.086	10 / 9.8			
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	1283	42	47	8.038 ± 0.312	7.880 ± 0.304	7.451 ± 1.644	10 / 8.9			
Trichoptera	Hydropsychidae	998	43	46	6.292 ± 0.414	6.324 ± 0.411	7.143 ± 1.823	5 / -			
Trichoptera	Philopotamidae	341	39	50	7.920 ± 0.505	6.849 ± 0.567	7.654 ± 1.487	8 / 10.6			
Plecoptera	Perlidae	24	13	76	8.748 ± 0.479	8.781 ± 0.484	8.654 ± 0.656	10 / 12.5			
Coleoptera	Elmidae	13	2	87	8.284 ± 0.309	8.443 ± 0.272	8.773 ± 0.818	5 / 6.4			
Coleoptera	Scirtidae	48	16	73	8.420 ± 0.533	8.463 ± 0.537	8.323 ± 0.939	5 / 6.5			
Lepidoptera	Pyralidae	108	20	69	8.333 ± 0.533	8.712 ± 0.604	7.952 ± 1.202	-			
Hirudinea	Glossiphoniidae	210	19	70	4.972 ± 0.494	4.786 ± 0.520	5.667 ± 1.523	3 / 3.1			



Gambar 7. Performa indeks biotik masing-masing metode penghitungan indeks biotik menurut skor kualitas air.

Hasil indeks biotik yang hampir tidak berbeda, diperoleh dari indeks biotik yang dihitung dengan metode *raw individual numbers* dan *relative abundance of individual families* dari makroinvertebrata.

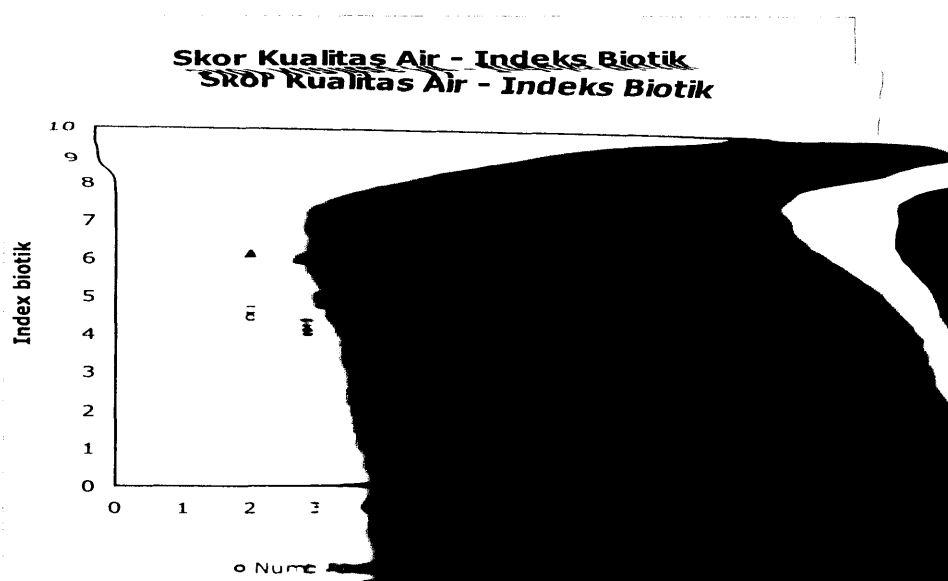
Penelitian ini memberikan hasil bahwa COD dan EC sangat significant (> 50%) menunjukkan varian dari habitat fisik kimia di setiap musim, sementara kekeruhan (*turbidity*) merupakan variabel kualitas air yang signifikan di setiap musim dan semua lokasi sampel (Gambar 5). Analisis PCA di 3 musim observasi menggambarkan klasifikasi/pengelompokkan lokasi studi/sampel dalam urutan penurunan kondisi kualitas air.

Hal ini ditunjukkan dari lokasi penelitian/sampel 17, 18, 19 dan 20 terletak di perbatasan antara daerah relatif tidak terpolusi dan daerah polusi. Ke empat lokasi tersebut saat ini sedang terancam dampak lingkungan akibat peningkatan penduduk dari Yogya Urban Agglomeration City (daerah hitam dalam Gambar 1). Kebanyakan industri (susu, kulit dan lain-lain) dan penduduk padat terletak di hilir dari lokasi sampel 20. Terkecuali lokasi 11, kondisi habitat pada kebanyakan lokasi

sampel relatif tetap posisinya sepanjang sumbu 1 analisis PCA.

Lokasi-lokasi sampel di bagian hulu skor kualitas airnya turun diduga karena lumut limbah (*sewage fungus*) yang tumbuh selama musim kemarau. Hubungan yang kuat antara kualitas air dan kondisi makroinvertebrata merefleksikan adanya penurunan cacah individu dan diversitas atau adanya kepunahan taxa di lokasi 11. Peningkatan nilai COD terlihat merupakan kenampakan utama kualitas air sejalan dengan lokasi-lokasi sampel yang terkelompok mengikuti perubahan kualitas air musiman.

Nilai COD yang bertambah tinggi di musim kemarau dapat merupakan refleksi dari peningkatan limpasan permukaan air hujan yang menyapu permukaan rapuh lahan daerah tangkapan air, sebagai akibat proses alamiah atau akibat aktivitas manusia (degradasi hutan, limbah organik/inorganik, jalan, pemukiman baru dan lain sebagainya) (Dudgeon, 1999). Gradien DO yang meningkat merupakan kondisi habitat yang terjadi pada kelompok lokasi sampel di bagian hulu yang mempunyai kedalaman air kurang 50 cm dan substrat yang



Gambar 7. Performa indeks biotik menurut skor kualitas

didominasi pasir dan kerikil.

Dalam upaya menyusun indeks biotik untuk sungai tropik Indonesia, digunakan skor kualitas air sumbu 1 PCA, dan merentangkannya dalam skor kualitas air 1-10 seperti yang digunakan dalam indeks lain (Lenat, 1993, Hellowell, 1986, Resh and Mc Elravy, 1993). Hilsenhoff menggunakan modifikasi opini ahli dan Lenat menggunakan 75% persentil sembarang data kelimpahan taxa dari kelas kualitas air (Lenat, 1993) sedangkan dalam penelitian ini indeks biotik dihitung berdasarkan 3 metode/cara yaitu cacah individu (*raw number of individual families*), kelimpahan relatif (*relative abundance*) dan kehadiran/ketidak-hadiran (*the presence or absence*) dari organisme air, sementara itu penggunaan teknik pengambilan sampel kualitatif dengan menghubungkan kehadiran/ketidak-hadiran dari makroinvertebrata tertentu dengan kualitas lingkungannya (indeks biotik) telah dikembangkan sejak tahun 1960 an (Resh and Jackson, 1993), namun demikian saat ini metode *scoring* 1/0 untuk kehadiran/ketidak hadirannya digunakan sebagai teknik kualitatif dalam kajian cepat (*rapid assessment approach*) *monitoring* biologi.

Dalam penelitian ini, penggunaan metode *presence/absence* ini akan menghasilkan perkiraan indeks biotik yang berlebih (*overestimation*) khususnya di lokasi dengan skor kualitas air rendah (Gambar 7) sementara kedua metode yang lain mempunyai hasil yang mendekati dengan prosentase kesamaan yang tinggi dari standard deviasi indeks biotik yang diperbandingkan dari setiap taxa (Tabel 2).

Akurasi dari indeks biotik yang didasarkan pada accah individu baku (*raw number of individuals*) besar kemungkinan ada kaitannya dengan standarisasi durasi pengambilan sampel makroinvertebrata yang sama yaitu 20 menit di setiap 30 lokasi pengambilan sampel.

Standarisasi waktu *sampling* akan mengakibatkan hilangnya informasi keragaman taxa (*taxa richness*) (Zamora Munoz, 1996). Namun demikian kelemahan dari terbatasnya waktu pengambilan sampel

dapat diminimalkan dengan mengaplikasikan perencanaan pengambilan sampel yang lebih *representative* dan juga peralatannya, seperti yang dikemukakan dalam kajian cepat *monitoring* biologi (*rapid assessment of biomonitoring*) (Resh and Jackson, 1993) dan sebagai sebuah pendekatan baru yang menarik yang bisa dilakukan dengan akurasi bagus dan waktu pengumpulan data lapangan yang efisien (Eaton and Lenat, 1991).

Indeks biotik dari 2 metode pertama kemudian dibandingkan dengan indeks biotik dari BMWP dari identifikasi tingkat famili (Tabel 2) yang banyak diaplikasikan di negara Inggris dan terbukti sebagai alat untuk mengkaji kualitas air sungai (Hellowell, 1986, Zamora Munoz, 1996, Martin, 2004). Sistem *scoring* BMWP juga telah banyak digunakan oleh mahasiswa dan para peneliti untuk mengukur derajat pencemaran di sungai di Indonesia karena kemudahannya. Walaupun tidak sama nilainya, namun indeks biotik dari BMWP terkoreksi mempunyai kecenderungan (*trend*) nilai yang sama dengan *relative/raw individuals metrics* dengan Caenidae, Ephemerellidae, Heptagenidae, Leptophlebiae, Perlidae mempunyai nilai yang tinggi dan Hydropsychidae yang mempunyai nilai yang lebih toleran; sementara Chironomidae, Gloosiphoniidae mempunyai nilai rendah (taxa yang sangat toleran). Dalam BMWP terkoreksi (BMWP *revised*), tercantum bahwa Elmidae, Scirtidae, Baetidae adalah taxa yang lebih toleran, hal ini kontras dengan apa yang diperoleh dari penelitian di sungai Gajahwong ini.

KESIMPULAN

Indeks biotik yang diukur berdasarkan indeks biotik dari kelimpahan relatif (*relative abundance*) dan indeks biotik dari cacah individu dasar (*raw individual numbers*) (dengan standarisasi durasi *sampling*), dapat merefleksikan dengan baik kondisi lingkungannya. Analisis PCA dapat menunjukkan pemisahan yang jelas dari lokasi-

lokasi sampel menurut kondisi kualitas airnya (derajat polusinya) dan sangat memuaskan dalam menghasilkan metode *scoring* untuk menyusun indeks biotik. Penelitian ini sesungguhnya masih merupakan langkah awal untuk penyusunan indeks biotik Indonesia. Diperlukan penyesuaian lebih lanjut dan target indeks biotik famili yang lebih banyak dalam penelitian selanjutnya mengingat pentingnya monitoring biologi (*biomonitoring*) untuk sungai-sungai tropis di Indonesia. Juga perlu dicari indikator biologis penting yang dapat menunjukkan respons terhadap polutan atau perubahan lingkungan yang ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan kerjasama antara Laboratorium Teknik Kesehatan Lingkungan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM yang menganalisis kualitas air, *bioassay* dan identifikasi sampel makroinvertebrata, dan Laboratorium Entomology, fakultas Pertanian UGM untuk identifikasi sampel makroinvertebrata. Ucapan terima kasih dan penghargaan mendalam disampaikan kepada Prof Kazumi Tanida yang telah membimbing penulis dan memberikan pelatihan identifikasi makroinvertebrata di Laboratory of Ecology and Systematics, Department of Biology, Osaka Prefecture University selama bulan Maret-April 2002. Penelitian ini sebagian dananya di dukung oleh proyek QUE (Quality and Undergraduate Education), Jurusan Teknik Sipil, FT UGM, Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah Kridapradana Konsultan, 2006, Laporan studi dampak pembuangan limbah di sungai Gajahwong, Bagian Pelaksana Kegiatan Pengelolaan Sumber Air Progo Opak Oyo Dirjen Sumber Daya Air, Yogyakarta
- Anonim, 2004, Standar Nasional Indonesia (SNI), air dan air limbah, Badan Standarisasi Nasional (BSN), Indonesia.
- APHA, 1998, Standard methods of the examination of water and wastewater, USA
- Bapedalda, 1999, Laporan pelaksanaan program kali bersih DIY, pemerintah propinsi DIY, Yogyakarta, Indonesia.
- Bournaud, M, B. Cellot, P. Richoux, A. Berrahou, 1996, Macroinvertebrate community structure and environmental characteristics along a large river: congruity of patterns for identification to species or family. *Journal of the North American Benthology Society* 15(2): 232-253.
- Cairns, J. Jr., J.R. Pratt, 1993, A History of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. Pages 10-27, in D.M. Rosenbergh and V.H. Resh (editors). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall Publishers, London.
- Dudgeon, D., 1999, Tropical Asian streams: Zoobenthos, ecology and coservation, Hongkong University Press, Hongkong.
- Eaton, E., L., D.R. Lenat, 1991, Comparison of a rapid bioassessment method with North Carolina's qualitative macroinvertebrate collection method. *J.N. Am. Benthol. Soc.*, 10(3): 335 – 338.
- Ellenberg, H. et al, 1991, Biological monitoring signals for the environment, Vieweg & Sohn, Braunschweig, Republic of Germany.
- Fore, L.S, J.R. Karr, 1996, Assessing invertebrate responses to human activities: evaluating alternative approaches. *Journal of the North American Benthology Society* 15(2): 212-231.
- Hellawell, J.M., 1986, Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Pages 423-450, Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Essex, England.
- James, A., L. Evison, 1979, Biological indicators of water quality, John Wiley & Sons, Chicester, Great Britain.

- Johnson, R.K., T. Wiederholm, D.M. Rosenberg, 1993, Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates. Pages 40-158, *in* D.M. Rosenbergh and V.H. Resh (editors). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall Publishers, London.
- Keup, L.E., W.M. Ingram, K.M Mackentum, 1967, Biology of water pollution, A collection of selected papers on stream pollution, waste water & water treatment, Cincinnati, Ohio, USA.
- Kompas, February 24th 2005, Newspaper, Jakarta.
- Lenat, D.R., 1993, A biotic index for the Southeastern United States: derivation and list of tolerance value, with criteria for assigning water-quality ratings. *Journal of the North American Benthology Society* 12(3): 279-290.
- Linfield, G., J. Penny 1995, Numerical methods using matlab, Ellis Horwood Ltd, USA.
- Martin, R., 2004, Origin of the Biological Monitoring Working Party (BMWP) system, <http://www.cies.staffs.ac.uk/>
- Moss, D., M.T. Furse, J.F Wright, P.D. Armitage, 1987, The prediction of the macroinvertebrate fauna of unpolluted running-water sites in Great Britain using environmental data. *Freshwater Biology* 17:41-52.
- Norris, R.H., A. Georges, 1993, Analysis and Interpretation of benthic macroinvertebrate surveys. Pages 234 – 286, *in* D.M. Rosenbergh and V.H. Resh (editors). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall Publishers, London.
- Ormerod, S.J., R.W. Edwards, 1987, The Ordination and classification of macroinvertebrate assemblages in the catchment of the River Wye in relation to environmental factors. *Freshwater Biology* 17: 533-546.
- Payne, A.I., 1986, The Ecology of tropical lakes and rivers, page 4 – 22, 75 – 88, John Wiley & Sons, Chicester.
- Pielou, E.C., 1984, The Interpretation of ecological data, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Townsend, C.R., A.G. Hildrew, J. Francis, 1983, Community structure in some southern English streams: the influence of physicochemical factors. *Freshwater Biology* 13: 521-544.
- Rempel, L.L., J.S. Richardson, M.C. Healey, 2000, Macroinvertebrate community structure along gradients of hydraulic and sedimentary conditions in a large gravel-bed river. *Freshwater Biology* 45:57-73.
- Resh, V.H., E.P. McElravy, 1993, Contemporary quantitative approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. Pages 159-233, *in* D.M. Rosenbergh and V.H. Resh (editors). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall Publishers, London.
- Resh, V.H., J.K. Jackson, 1993, Rapid bioassessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. Pages 195-233, *in* D.M. Rosenbergh and V.H. Resh (editors). Freshwater biomonitoring and benthic macro-invertebrates. Chapman and Hall Publishers, London.
- Roosenberg, D.M, Resh, V.H., 1993, Freshwater biomonitoring and biomonitoring and benthic macroinvertebrates, Chapman and Hall Publishers, London.
- Saraswati, S.P., 2000, Study in Opak Oyo River & It's Tributaries, Makalah di presentasikan di LIPI Bogor, Indonesia.
- SNIM-03, 1989, Metoda analisa dan acuan untuk pemantauan kualitas air, Indonesia.
- YUIMS (Yogyakarta Urban Infrastructure Management Support) Project), 1999, Inventarisasi dan evaluasi kinerja aset-aset prasarana di aglomerasi perkotaan, Yogyakarta.

- Wetzel, R.G., G.E. Likens, 2000, *Limnological analysis*, 3rd edition, Page 57-72, 369-372, Springer Verlag, New York.
- Wiederholm, T., 1984, Responses of aquatic insects to environmental pollution. Pages 508-557, in V.H. Resh and D.M. Rosenberg (editors), *The Ecology of aquatic insect.*, Praeger Publishers, New York.
- Wright, J.F., D. Moss, P.D. Armitage, M.T. Furse, 1984, A preliminary classification of running-water sites in Great Britain based on macro-invertebrate species and the prediction of community type using environmental data. *Freshwater Biology* 14: 221-256.
- Zamora – Munoz, C., J.A. Tercedor, 1996, Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods. *Journal of the North American Benthology Society* 15(3): 332-352.