

**KAJIAN BENTUK DAN SENSITIVITAS RUMUS INDEKS PI, STORET, CCME UNTUK
PENENTUAN STATUS MUTU PERAIRAN SUNGAI TROPIS DI INDONESIA**
(*Assessment of the Forms and Sensitivity of the Index Formula PI, Storet, CCME for The
Determination of Water Quality Status of A Tropical Stream in Indonesia*)

Sri Puji Saraswati^{1*}, Sunyoto¹, Bambang Agus Kironoto¹ dan Suwarno Hadisusanto²

¹Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,
Jl Grafika no. 2, Yogyakarta 55281

²Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Teknika Selatan, Yogyakarta 55281

*Penulis korespondensi. Telp. 087738039962. Email: spswatinz@ugm.ac.id.

Diterima: 24 Januari 2014

Disetujui: 17 Mei 2014

Abstrak

Metode-metode Pollution Index (USA), metode Storet (USA) dan metode CCME (Canada) adalah metode indeks kualitas air (IKA) untuk penentuan status mutu air. Dua yang pertama banyak digunakan praktisi lingkungan di Indonesia karena dirujuk dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115/2013. Ketiganya dapat menghitung IKA dengan baku mutu kualitas air lokal sungai kajian. Mengingat negara penyusun metode tersebut berbeda kondisi lingkungannya dan masing-masing metode mempunyai faktor spesifik untuk menghitung IKA, maka perlu dikaji kesesuaian masing-masing metode untuk diterapkan di sungai tropis Indonesia. Masing-masing metode akan dikaji bentuk persamaan dan sensitivitasnya dengan menggunakan banyak parameter kualitas air dan menggunakan jumlah parameter kualitas air tertentu mengacu pada metode IKA yang dikembangkan di negara tropis lainnya. Kajian menggunakan data pemantauan "Prokasih" di sungai Gajah Wong Yogyakarta tahun 1996/1997 - 2011/2012. Penelitian ini dilakukan dalam rangka menyusun metode IKA sungai tropis Indonesia pada umumnya dan di sungai Gajah Wong khususnya serta program pengelolaan kualitas air untuk pengendalian pencemaran air sungai, dengan target konservasi air sungai yang multifungsi atau *overall/general use* (memenuhi kriteria kesehatan air baku, memenuhi kriteria estetika serta kriteria ekologi/aman bagi kehidupan di perairan). Hasil kajian menunjukkan bahwa dibandingkan 2 metode lainnya, metode CCME dinilai paling obyektif (secara statistik) menghitung IKA perairan sungai Gajah Wong. CCME paling sensitif merespon dinamika indeks mutu air di setiap lokasi pemantauan, lebih universal untuk dapat diaplikasikan di luar negara penyusunnya. Namun untuk diaplikasikan di sungai Gajah Wong, metode CCME perlu diadaptasi terhadap beberapa hal yaitu jumlah dan jenis parameter kualitas air yang dianggap signifikan, jumlah dan kelas mutu air. Adaptasi mempertimbangkan program pengendalian pencemaran air dan strategi operasional/manajemen aliran sungai yang ekologis dan berkelanjutan. Skor batas dan makna setiap kelas mutu air dalam IKA harus diverifikasi terhadap data lingkungan lain misal hasil biotilik ataupun *bioassay* sehingga status indeks kualitas air tidak bertentangan dengan kondisi biologi di sungai. Pelibatan parameter bakteriologi kualitas air (*Escherichia coli* dan Total Coliform) serta *Electric Conductivity/EC* sebagai parameter kualitas air signifikan dalam metode IKA masih perlu dikaji lebih lanjut untuk pengembangan metode IKA khas perairan sungai di negara tropis Indonesia.

Kata Kunci: air sungai, status kualitas air, indeks kualitas, pengendalian pencemaran air, air limbah.

Abstract

Pollution Index method (USA), Storet method (USA) and CCME (Canada) method are water quality index (WQI) methods used to determine water quality status of a river, the first two are widely used by environmental practioners in Indonesia since it is referred by Environmental Ministry Regulation No. 115/2003. These methods can be used based on local water quality standard. Considering that the country of WQI methods were developed have different environmental condition and each method has its own characteristics to calculate the index, it is necessary to review a suitable WQI method for Indonesia tropical stream in general and for Gajah Wong stream in particular. This research reviewed the form of the formula of each index, then analyze the sensitivity of each index by using many water quality parameters with and without bacteriology, and reducing the number of water quality parameters similar to those WQI index developed in other tropical countries. Indexes are reviewed using "Prokasih" (Clean River Program) monitoring data at Gajah Wong stream from 1996/1997 to 2011/2012. Water quality statuses are reviewed in the contex of river water quality management for water pollution prevention, with the target of river water conservation which is "multifunction" or "overall/general use" to meet health criteria for raw water, aesthetical criteria and ecological safety for aquatic life. Research conclusion showed that compared to the other 2 methods, CCME is considered as the most objective (statistically) to determine water quality index for river waters. It is also the most sensitive to respond to the dynamic of water quality index at each monitoring location (spatial and temporal). This method is also considered

as more universally applicable outside of the country it was developed. To be applied at Gadjah Wong stream however, CCME index method needs to be adapted on the number and types of significant water quality parameters. The number of quality status classes of CCME index should be limited to simplify water quality management as well as ecological and sustainability of operational and management strategy. Score limit of every class and significance of water quality classes need to be verified against other environmental data such as results from biomonitoring and bioassay, the status results of the water quality index should not contradict with the stream biological condition. The use of bacteriology (Escherichia coli and Total Coliform) and Electrical Conductivity/EC water quality parameters as criteria should be further reviewed for development of WQI method specific for Indonesia tropical stream.

Keywords: river water, water quality status, quality index, water pollution control waste water.

PENDAHULUAN

Pendekatan tradisional penentuan status mutu air di sumber air adalah dengan membandingkan data setiap parameter kualitas air konvensional (fisik, kimia, bakteriologi) dengan kondisi normatif kelas air setempat (baku mutu peruntukan air). Dalam konteks pengelolaan kualitas air dan lingkungan sungai menurut Bovee dkk (1988) dan Parparove dkk (2006), status mutu air harus bisa dikuantifikasikan dan diekspresikan dengan suatu indeks tunggal (*single index*) kualitas air (IKA) yang dapat dihubungkan dengan strategi operasional manajemen sungai yang ekologis dan berkelanjutan. Konsep IKA mengadopsi ide indeks biotik yang telah ada sejak 1908 yaitu Saprobity Index dimana kehadiran atau tidak adanya satu atau beberapa organisme menjadi penanda kondisi lingkungan setempat (Ellenberg dkk, 1991, Johnson dkk, 1993, Cairns dan Pratt, 1993). Banyak ilmuwan mengembangkan bermacam metode untuk mentransformasi parameter kualitas air yang berjumlah banyak menjadi nilai tunggal IKA. Penggunaan IKA memudahkan evaluasi kecenderungan perubahan mutu air sungai menyeluruh baik secara spasial maupun temporal. Dengan demikian cocok untuk kajian individu sungai bagi keperluan penyusunan program pengelolaan sungai yang ekologis dan berkelanjutan.

Di kalangan beberapa ilmuwan penggunaan IKA untuk mengklasifikasikan kualitas air masih dianggap kontroversial, karena satu indeks dianggap tidak dapat menggambarkan secara keseluruhan kondisi kualitas air yang ada dan banyak parameter kualitas air yang tidak tercakup dalam indeks tersebut. Hampir semua negara mengembangkan metode IKA nya masing-masing. Ada 2 metode IKA yang populer digunakan di Indonesia yaitu metode Storet dan PI (Pollution Index), karena dirujuk oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Keduanya dikembangkan di negara USA (Anonim, 2011; Nemerow dan Sumitomo, 1970), dan metode IKA lainnya yaitu CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) dikembangkan di

negara Canada (Lumb dkk, 2006). Mengingat negara penyusun metode IKA tersebut berbeda lingkungan dan masing-masing metode mempunyai faktor spesifik untuk menghitung IKA, maka perlu dikaji kesesuaian masing-masing dari ketiga metode tersebut untuk diterapkan di sungai tropis Indonesia.

Tujuan penelitian ini mengkaji konstruksi persamaan dan sensitivitas 3 metode indeks kualitas air yaitu Pollution Index Storet dari USA), dan CCME, melihat sejauh mana obyektifitasnya dalam menyimpulkan status mutu air di sungai tropis di Indonesia. Penelitian ini dilakukan dalam rangka menyusun metode IKA sungai tropis Indonesia pada umumnya dan di sungai Gadjah Wong khususnya serta program pengelolaan kualitas air untuk pengendalian pencemaran air sungai dengan target konservasi air sungai yang multifungsi atau *overall/general use* (memenuhi kriteria kesehatan air baku, memenuhi kriteria estetika serta kriteria ekologi/aman bagi kehidupan perairan (*aquatic life*)). Sensitivitas metode dikaji menggunakan data pengukuran Prokasi sungai Gadjah Wong di Yogyakarta April 1997 hingga Desember 2011. Ketiga metode tersebut memberikan fleksibilitas penggunaan jumlah dan jenis parameter kualitas air serta pemakaian regulasi baku mutu sesuai kebutuhan lokal. Bentuk persamaan dan simulasi sensitivitas indeks dikaji berdasarkan penggunaan banyak parameter dengan dan tanpa parameter bakteriologi (Total Coli dan E. Coli), penggunaan hanya beberapa parameter kualitas air seperti dalam metode OIP/*Overall Index Pollution India* (Sargaonkar dan Deshpande, 2003) dan metode INWQS-DOE/*Department of Environmental Malaysia* (Al Mamun dan Idris, 2010). Metode PI dan Storet dipilih karena metode ini populer digunakan para praktisi dan peneliti kualitas air sungai di Indonesia, sementara CCME dipilih karena indeks ini menggunakan obyektivitas statistika resiko lingkungan dalam persamaan indeksnya (Lumb dkk, 2006). Indeks OIP dan DOE adalah metode indeks kualitas air yang dikembangkan dengan standar lingkungan masing-masing di India dan Malaysia, negara yang memiliki tantangan polusi domestik dan industri mirip dengan Indonesia.

Manfaat kajian ini adalah mengetahui kelemahan dan kekuatan masing-masing metode tersebut, sehingga tidak terjadi kesalahan penyimpulan status kualitas air. Manfaat lainnya yaitu memberikan kriteria pertimbangan dalam menyusun metode indeks kualitas air spesifik di sungai tropis Indonesia pada umumnya dan di sungai Gajah Wong khususnya mengingat banyak peneliti dan praktisi pengelolaan kualitas air, hanya menjadi pengguna rumus metode IKA yang berasal dari berbagai negara tersebut tanpa melakukan adaptasi penggunaannya.

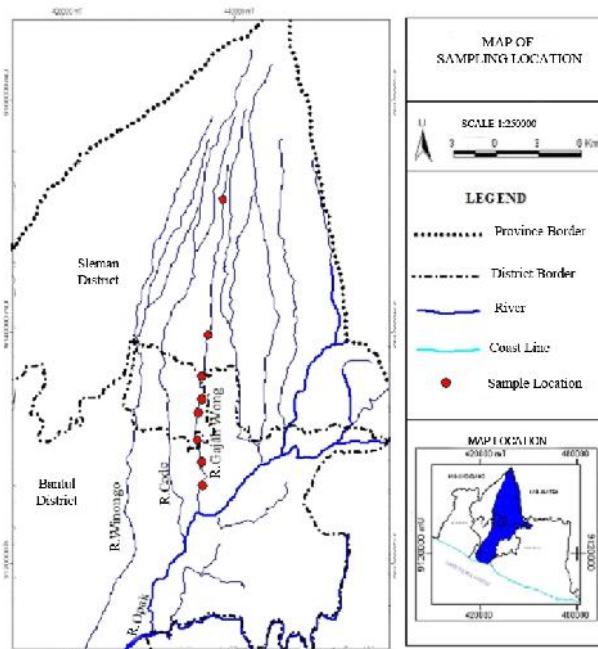
METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

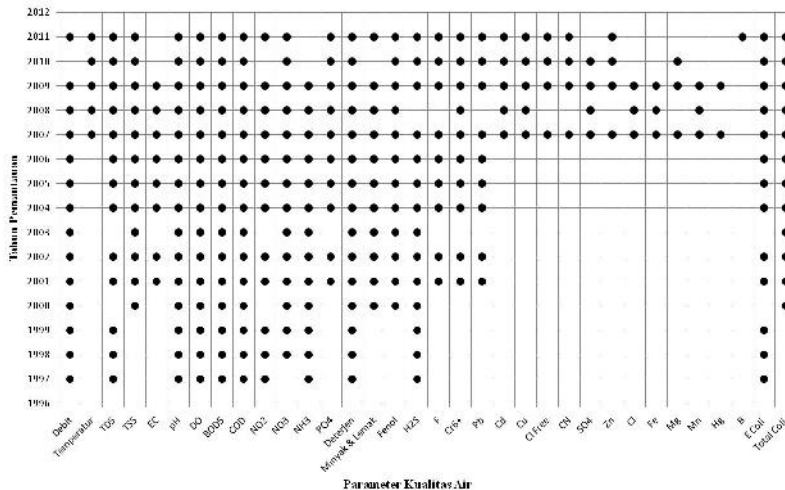
Kajian metode IKA menggunakan data sekunder pemantauan Prokasih di sungai Gajah Wong.

Total terdapat 13 titik pantau di sungai utama dan anak sungai Gajah Wong. Penelitian ini menggunakan hanya 8 titik pantau yang berada di sungai utama, yaitu Jembatan Tanen (1), Pelang (2), IAIN (3), Muja-Muju (4), Rejowinangun (5), Tritunggal (6), Wirokerten (7), Wonokromo (8) seperti disajikan dalam Gambar 1. Tercatat 35 parameter kualitas air termasuk debit, yang pernah diukur namun parameter tersebut tidak selalu terukur setiap tahunnya (Gambar 2), demikian pula bulan dan jumlah bulan pemantauan (Saraswati dkk, 2013).

Dari 34 parameter kualitas air terukur selain debit, terdapat 17 data parameter kualitas air yang akan dianalisis dengan pertimbangan kontinuitas pengukuran dan tidak terdapat data ‘*censored*’ yang



Gambar 1. Lokasi sungai Gajah Wong dan 8 titik pantau kualitas air.



Gambar 2. Total parameter kualitas air terukur di sungai Gajah Wong 1996/1996-2011/2012.

tahun pengamatannya berurutan (Saraswati dkk, 2013). Parameter kualitas air tersebut adalah pH, EC, TDS, TSS, DO, BOD₅, COD, Deterjent, PO₄, NO₂, NO₃, NH₃N, *Escherichia coli*/E. Coli, Total Coliform/Total Coli, Cr⁶⁺, Fluoride/F, Minyak dan Lemak/Oil and Grease.

Metode Indeks Kualitas Air (IKA)

Metode-metode indeks kualitas air PI, Storet, dan CCME dijelaskan sebagai berikut ini.

Metode Indeks Pencemaran (Pollution Index)

Metode Indeks Pencemaran (IP) (Nemerow dan Sumitomo, 1970) ini digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diijinkan dengan rumus sebagai berikut,

$$IP_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}} \quad (1)$$

dimana IP_j adalah indeks pencemaran bagi peruntukan j , C_i adalah konsentrasi parameter kualitas air i , L_{ij} adalah konsentrasi parameter kualitas air i yang tercantum dalam baku peruntukan air j , sementara M = maksimum, R = rerata. Indeks kualitas air IP ditentukan dari resultante nilai maksimum dan nilai rerata rasio konsentrasi per-paramater terhadap nilai baku mutunya. Untuk satu target peruntukan/pemanfaatan air, semua nilai relatif pencemaran tidak diberi bobot, pembobotan dilakukan saat menghitung IP dari n jumlah pemanfaatan air (misal kelompok *human/direct contact* untuk air minum dan lainnya, kelompok *remote contact* untuk navigasi dan lainnya, kelompok *indirect contact* untuk pertanian dan lainnya), dengan rumus

$$IP = \sum_{j=1}^{j=n} w_j IP_j \quad \text{and} \quad \sum_{j=1}^{j=n} w_j = 1 \quad (2)$$

dimana w_j adalah bobot masing-masing jenis penggunaan air. Kelas indeks IP ada 4 dengan skor 0 IP 1,0 adalah memenuhi baku mutu (*good*); 1,0 < IP 5,0 tercemar ringan (*slightly polluted*); 5,0 < IP 10 tercemar sedang (*fairly polluted*), IP >10,0 dengan status perairan tercemar berat (*heavily polluted*).

Metode Storet

Penentuan status mutu air dengan metode Storet (Anonim, 2011) adalah dengan membandingkan data kualitas air dengan baku mutu yang disesuaikan dengan peruntukannya. Awalnya Storet dikembangkan untuk menilai

Tabel 1. Skor masing-masing jenis parameter dalam metode Storet

Jumlah parameter *	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
< 10	Maks	-1	-2	-3
	Min	-1	-2	-3
	Rerata	-3	-6	-9
10	Maks	-2	-4	-6
	Min	-2	-4	-6
	Rerata	-6	-12	-18

Sumber : KepMen LH no KEP 115/MENLH/2003

Catatan * : jumlah parameter yang digunakan untuk menghitung IKA

mutu air untuk “*specific use*” misal peruntukan air minum. Namun belakangan metode tersebut juga dapat dipakai untuk menilai “*overall use*” air (Anonim, 2011). Penentuan status mutu air menggunakan *time series data*. Jika hasil pengukuran memenuhi nilai baku mutu maka di beri skor = 0 sedang jika hasil pengukuran melampaui baku mutu maka di beri skor sesuai dengan Tabel 1. Status mutu air diklasifikasikan dalam 4 kelas : kelas A : baik sekali/memenuhi baku mutu, skor 0; kelas B : baik/tercemar ringan, skor -1 sampai -10; kelas C : sedang/tercemar ringan, skor -11 sampai dengan -30; kelas D : buruk/ tercemar berat, skor - 31.

Metode CCME

Metode yang dikembangkan CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment*) (Lumb dkk, 2006, Saffran dkk, 2001) menggabungkan 3 elemen yaitu *Scope* atau jumlah parameter kualitas air yang tidak mencapai tujuan kualitas air (F_1) dengan rumus.

$$F_1 = \left(\frac{\text{number of failed variables}}{\text{Total number of variables}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Frequency yaitu jumlah kejadian target tidak tercapai (F_2) dengan rumus

$$F_2 = \left(\frac{\text{number of failed tests}}{\text{Total number of tests}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Amplitude yaitu sejauh mana target tidak tercapai (F_3) dengan rumus

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right) \quad (5)$$

dimana nse = *normalised sum of the excursions* =

$$\text{excursions}_i = \left(\frac{\text{Failed Test Value}_i}{\text{Objective}_j} \right) - 1 \quad (6a)$$

atau

$$\text{excursions}_i = \left(\frac{\text{Objectives}_j}{\text{Failed Test Value}_i} \right) - 1 \quad (6b)$$

Kemudian indeks kualitas air *CWQI* dihitung dengan rumus

$$CWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \quad (7)$$

Indeks *CWQI* menghasilkan angka antara 0 (terjelek) hingga 100 (terbaik) yang terbagi dalam 5 kelas yaitu *excellent* (95-100), *good* (80-94), *fair* (65-79), *marginal* (45-64), *poor* (0-44), dalam merefleksikan status mutu/kualitas air.

Target Penggunaan Air

Dalam penelitian ini target pengelolaan kualitas air sungai untuk penentuan index PI, Storet dan CCME adalah untuk konservasi air, sungai sebagai badan air alami dan sumber air baku yang memiliki multifungsi (*general use*) untuk berbagai keperluan (air minum, pertanian, drainase dan lainnya) termasuk fungsi ekologis. Data kualitas air alamiah sungai Gajah Wong (*natural background condition*) yang seharusnya menjadi tolok ukur tidak tersedia, oleh karenanya digunakan pendekatan baku mutu air permukaan kelas I Peraturan Gubernur No. 20 tahun 2008 sebagai dasar kajian sensitivitas. Mutu air Kelas I adalah air yang peruntukannya dapat dimanfaatkan untuk air

baku air minum dan bisa digunakan untuk keperluan lain.

Sebagai pembandingan, indeks kualitas air dalam metode OIP yang dikembangkan di India menggunakan baku mutu lokal yaitu kelas air C2, yang “*acceptable*” (Sargaonkar dan Deshpande, 2003), serta target pengelolaan kualitas air pada INWQS-DOE yang dikembangkan di Malaysia menggunakan baku mutu “*general use*” (Al-Mamun dan Idris, 2010) dengan nilai konsentrasi parameter kualitasnya setara dengan mutu air Kelas I Peraturan Gubernur DIY, seperti disajikan dalam Tabel 2.

Parameter Kualitas Air Masing-masing Metode IKA

Dalam penelitian ini kajian sensitivitas metode IKA dilakukan dengan menggunakan, tujuh belas (17) parameter terukur Prokasih termasuk bakteriologi (*E Coli* dan Total Coli); lima belas parameter (15) tetapi tanpa bakteriologi; enam (6) parameter pH, TDS, BOD₅, DO, NO₃, F seperti dalam OIP (kecuali Turbidity, Color, Hardness, Cl, SO₄ dan As karena tidak terukur secara baik/konsisten sepanjang tahun); enam (6) parameter dalam INWQS-DOE yaitu pH, TSS, DO, BOD₅, COD dan NH₃, sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Beberapa parameter dalam baku mutu kelas I (Peraturan Gubernur DIY no 20 tahun 2008), C2 OIP dan *General Use* DOE.

Parameter	Kelas I	OIP	DOE
pH	6-9	6-6,5;7,5-8	6-8,5
Turbidity (NTU)	5	10	-
Color (Hazen Unit)	-	150	-
TDS (mg/L)	1000	1500	-
TSS (mg/L)	50	-	50
EC (umhos/cm)	-	-	-
Hardness (mg/L CaCO ₃)	-	150	-
DO (mg/L)*	6	75-125 **	6
BOD ₅ (mg/L)	2	3	3
COD (mg/L)	10	-	10
NO ₂ (mg/L)	0,06	-	-
NO ₃ (mg/L)	10	45	-
NH ₃ N (mg/L)	0,5	-	0,5
PO ₄ (mg/L)	0,2	-	-
Cl (mg/L)	600	250	-
SO ₄ (mg/L)	400	250	-
As (mg/L)	0,05	0,01	-
Fe (mg/L)	0,3	-	-
Flouride (mg/L)	0,5	1,5	-
Cr ⁶⁺ (mg/L)	0,05	-	-
Detergen (mg/L)	0,2	-	-
Minyak dan pelumas	1000	-	-
<i>E Coli</i> (MPN)	100	-	-
Total Coli (MPN)	1000	500	-

Catatan : - = tidak digunakan, * = nilai minimum, **=unit (%), DOE : nilai parameter untuk *WQI*=80 (air bersih untuk *generall use*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Data dan Target Kualitas Air

Analisis dan evaluasi data kualitas air dilakukan setelah proses *smoothing* data ‘*outlier*’, ‘*censored*’, ‘kosong’ (Saraswati dkk, 2013). Berdasarkan kajian konsistensi data, kualitas air sungai relatif terpantau/terukur terus di bulan Juni. Kondisi kualitas air di sungai Gajah Wong sejak tahun 1996/1997 hingga 2011/2012 di bulan Juni yang diwakili oleh parameter COD ditunjukkan dalam Gambar 3. Menurut Gambar 3 ada penurunan sebaran konsentrasi COD (terjadi perbaikan kualitas air sungai) antara titik 1-8 khususnya sejak tahun 2008. Keadaan membaik teramati mulai titik 4 selanjutnya ke 5, 6, 7 dan 8, sedangkan konsentrasi COD di titik 1, 2 dan 3 relatif tetap tidak berubah bahkan ada kecenderungan memburuk kondisinya 5 tahun terakhir (> baku mutu 10 mg/L). Realita di lapangan menunjukkan terjadinya perubahan lahan pertanian di hulu sungai ke arah pertumbuhan pemukiman yang semakin padat.

Sepanjang sungai Gajah Wong terdapat aktivitas layanan kesehatan (17 lokasi), bengkel dan pencucian mobil (83 lokasi), industri batik 1 lokasi, industri tekstil 1 lokasi, industri tahu dan tempe (3 lokasi), industri percetakan (11 lokasi), industri

kulit (2 lokasi), industri *metal coating* (13 lokasi), industri pengalangan ikan (1 lokasi), industri susu (1 lokasi), hotel/restoran/*mall* (52 lokasi), SPBU/Terminal (8 lokasi), peternakan (2 lokasi) (Anonim, 2010). Mengkaji kualitas air sungai hanya menggunakan satu parameter kualitas air saja dalam hal ini COD tidak tepat, kecuali terkait dengan kajian efektivitas sistem pengolahan air limbah yang akan masuk ke sungai tersebut (Nemerow, 1985).

Variabilitas data beberapa parameter kualitas air di sungai Gajah Wong (nilai rerata, rentang minimum – maksimum) disajikan dalam Tabel 4. Beberapa parameter teridentifikasi tidak memenuhi baku mutu kelas mutu air I (kadang-kadang hingga sering), antara lain parameter TSS, BOD₅, COD, DO, NO₂, PO₄, detergen, fluoride, oil and grease, *E. coli* dan total coli. Data yang telah diperbaiki dari problem “*outlier*”, “*censored*”, “*nihil*”, “*missing value*” (Saraswati dkk, 2013).

Target pengelolaan kualitas air bukan hanya untuk *specific* atau *best usage* air sungai namun menggunakan tolok ukur kondisi alamiah sungai (*site specific condition/natural background condition*) yang memiliki multifungsi (*overall uses*) (Lumb, dkk, 2006, Dudgeon, 2008). Menurut Novotny (1996) sungai yang baik adalah sungai yang bisa menjaga 3 aspek dimensi yaitu dimensi fisik/habitat (siklus hidrologi dan aliran, struktur habitat dan lainnya), dimensi biologi (biota air dan siklus nutrien dan energi) dan dimensi kimia (parameter kimia, kualitas air dan lainnya). Jika kawasan sungai dikelola dengan baik maka sungai dapat menyediakan air yang multifungsi dan menghasilkan air untuk kepentingan pertanian, kehutanan, perkebunan, peternakan, perikanan, dan masyarakat seperti air minum, industri, irigasi, tenaga listrik, rekreasi dan sebagainya (UU No. 11/1974) dan (PP No. 22/1982). Selain itu,

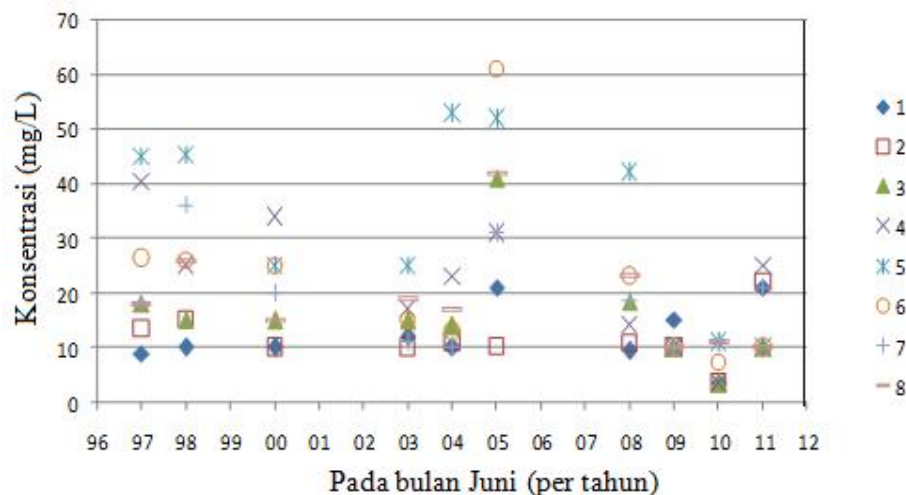
eksploitasi sungai harus tidak merusak ekosistem sungai, mempertimbangkan karakteristik sungai, kelestarian keanekaragaman hayati (PP No, 38/2011).

Mengingat belum ada data kondisi lokal kualitas alamiah air sungai Gajah Wong, maka untuk target mutu air yang multifungsi dalam penelitian ini didekati dengan baku mutu air permukaan kelas I (Peraturan Gubernur DIY no. 20 tahun 2008 ditambah parameter EC), air bisa digunakan sebagai air baku minum, pertanian perikanan dan lainnya. Syarat mutu air sungai yang multifungsi harus memenuhi kriteria kualitas untuk kesehatan manusia, memenuhi kriteria estetika serta aman bagi kehidupan di air.

Kajian Bentuk Persamaan Indeks PI, Storet, CCME

Metode PI, Storet dan CCME mempunyai kesamaan yaitu memberikan fleksibilitas penentuan jumlah dan jenis parameter signifikan yang digunakan untuk menghitung indeks. Akan tetapi fleksibilitas ini dapat menjerumuskan seseorang dalam memilih parameter dan berdampak pada penyimpulan status mutu air. Mengingat seseorang dengan pengetahuan kualitas air/lingkungan yang terbatas akan tidak paham betul mengenai parameter-parameter signifikan/bermakna yang perlu diukur agar dapat menggambarkan variabilitas dan problema kualitas air yang ada.

Metode-metode indeks kualitas air, misal indeks Horton (Abbasi, 2001), indeks NSFI (Wills dan Irvine, 1996), indeks Brown (Brown dan McClelland, 1970), indeks Dinius (Ott, 1978), WQImin, WQIm, WQIDO (Kannel dkk, 2007), WQIA (Dwivedi dan Pathak, 2007), memberi bobot masing-masing parameter-parameter kualitas air (skor subindeks) terhadap semua parameter kualitas



Gambar 3. Konsentrasi COD air sungai Gajah Wong di 8 titik pantau, bulan Juni tahun 1996/1997 – 2011/2012.

Tabel 4. Rerata dan rentang min-maks beberapa parameter kualitas air (2006-2011) di sungai Gajah Wong.

	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	EC (µmohs/cm)	pH	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	DO (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	E coli (MPN/100 mL)	Total coliform (MPN/100 mL)
1	105,98 1,00 - 160,30	19,25 2 - 95	205,17 172 - 230	7,19 8,07 - 6,11	4,67 0,50 - 13,00	17,45 3,66 - 51,50	6,30 3,90 - 8,30	0,02 0,001 - 0,10	243,120 0,E+00 - 1,E+06	497,091 0,E+00 - 3,E+06
2	153,07 1,00 - 308,00	24,58 3 - 95	282,06 140 - 339	7,11 8,29 - 6,11	5,02 1,00 - 13,10	20,87 3,45 - 63,50	5,28 1,75 - 7,30	0,03 0,001 - 0,21	626,601 4,E+03 - 3,E+06	940,599 0,E+00 - 4,E+06
3	158,21 2,00 - 268,20	32,42 3 - 95	306,10 146 - 383	7,10 8,11 - 6,40	7,86 1,00 - 21,47	27,51 3,45 - 77,50	5,41 2,10 - 8,00	0,11 0,001 - 0,54	1,271,803 9,E+03 - 6,E+06	1,360,055 9,E+03 - 4,E+06
4	197,16 4,00 - 338,00	32,90 3 - 94	379,45 234 - 511	7,13 8,23 - 6,50	8,80 1,75 - 21,52	31,70 3,45 - 84,18	5,19 1,20 - 7,47	0,14 0,001 - 0,58	1,763,488 7,E+02 - 6,E+06	1,124,438 2,E+04 - 4,E+06
5	249,77 8,00 - 466,00	38,26 9 - 94	504,82 252 - 714	7,15 8,02 - 6,60	10,58 1,98 - 21,75	34,77 3,45 - 84,97	4,55 1,01 - 8,00	0,23 0,002 - 0,65	1,638,816 4,E+03 - 6,E+06	1,051,671 2,E+04 - 4,E+06
6	216,23 4,00 - 380,00	34,07 5 - 94	409,23 272 - 575	7,28 8,00 - 6,22	8,41 1,36 - 21,45	34,40 3,45 - 84,63	5,57 3,20 - 9,75	0,24 0,002 - 0,66	865,263 9,E+00 - 5,E+06	1,092,592 7,E+03 - 4,E+06
7	216,96 5,00 - 363,00	31,93 5 - 95	410,80 272 - 551	7,24 8,19 - 6,16	7,57 1,75 - 20,70	29,95 3,45 - 77,00	5,35 1,70 - 9,82	0,19 0,002 - 0,62	965,219 2,E+04 - 5,E+06	1,092,782 2,E+04 - 4,E+06
8	218,33 10,00 - 353,00	37,82 4 - 95	424,18 263 - 535	7,30 8,00 - 6,37	6,78 1,75 - 18,07	27,19 3,45 - 72,00	5,99 2,40 - 9,82	0,09 0,007 - 0,41	963,874 0,E+00 - 5,E+06	690,255 9,E+03 - 3,E+06

Catatan : Baku mutu kelas I (PerGub DIY no. 20 tahun 1998), EC = -, TDS = 1000 mg/L, TSS = 50 mg/L, pH = 6-9, BOD₅ = 2 mg/L, COD = 10 mg/L, DO = 6 mg/L, NO₃ = 10 mg/L)

air yang diukur, yang dianggap signifikan mempengaruhi indeks kualitas air keseluruhan. Beberapa parameter kualitas air dianggap lebih penting dibanding parameter kualitas air lainnya. Pada metode-metode tersebut, skor bobot pada umumnya ditentukan secara subyektif berdasarkan konsensus atau dengan teknik Delphi. Pada PI, tidak ada skema skor subindeks atau skor definitif (subyektif) per parameter, parameter paling signifikan dihitung atas dasar perbandingan terbesar dari konsentrasi terhadap baku mutunya. Indeks Storet didasarkan atas subyektivitas bobot dan skor parameter yang dianggap signifikan di USA, daerah/negara asal perkembangan indeks tersebut. Bobot parameter biologi dianggap 3 kali lebih penting dan parameter kimia 2 kali lebih penting, dibanding parameter fisika. Kemudian bobot masing-masing parameter tersebut diberi nilai 2 kali lebih besar jika jumlah parameter signifikan untuk menghitung indeks jumlahnya > 10 (Tabel 1). Asumsi ini belum tentu berlaku di negara lain, khususnya negara tropis yang memiliki kondisi iklim dan lingkungan berbeda. Indeks CCME tidak mengenal skema subindeks atau skor per-parameter.

Indeks PI dihitung dengan mempertimbangkan ratio konsentrasi suatu parameter dengan baku mutunya (C_i/L_{ij}) maksimum dan rerata ratio sejumlah parameter kualitas air, hanya dari suatu atau single waktu kegiatan pengambilan spesimen kualitas air, demikian pula metode OIP dan DOE. Indeks Storet dihitung berdasarkan maksimum, minimum dan rerata dari data beberapa pengambilan spesimen kualitas air. Indeks CCME dihitung/disimpulkan dari serangkaian data hasil beberapa pengambilan spesimen kualitas air, dan

menerapkan obyektivitas suatu resiko lingkungan yaitu, akibat sejumlah parameter (F_1) dan sejumlah kejadian yang tidak memenuhi baku mutu (F_2) serta selisih/simpangan konsentrasi masing-masing parameter terhadap baku mutunya (F_3).

Seperti diketahui kualitas air (fisik, kimia, bakteriologi) sungai mempunyai variabilitas sangat tinggi yang dipengaruhi oleh fenomena iklim dan siklus hidrologi, kondisi geografi, siklus nutrien, kehidupan organisme air serta gangguan alamiah dan antropogenik (Lewis, 2008). Dengan demikian data kualitas air yang diukur dari satu *single sampling* kualitas air adalah data kondisi sesaat. Menurut MetCalf (Cairns dan Pratt, 1993) hakekat dan tujuan dari pemantauan lingkungan adalah bukan untuk mendeteksi fluk-tuasi minor yang secara cepat hilang tetapi untuk mendeteksi perubahan signifikan dalam ekosistem, sehingga kualitas air perlu diukur secara spasial dan temporal (periodik dan deret waktu). Dari kajian bentuk persamaan 3 metode indeks kualitas air maka metode Storet dan CCME dinilai lebih logis, dimana indeks mutu air dihitung dan disimpulkan dari serangkaian data hasil beberapa pengambilan spesimen kualitas air.

Seperti dijelaskan sebelumnya, masing-masing metode indeks kualitas air mempunyai perbedaan dalam jumlah pengkelasan status mutu air. Kelas mutu air juga dikenal dalam biotilik/*biomonitoring* (Roosenberg dan Resh, 1993), ada yang terdiri dari 4 kelas seperti dalam sistem Saprobien, 7 kelas dalam indeks biotik Hilsenhoff atau Indeks Biotik Famili, 6 kelas dalam Indeks Biotik Integrity (IBI) dan lainnya. Agar bencana ekologi di sungai-sungai di Indonesia bisa dihindari atau diminimalkan, idealnya pemantauan kualitas air dengan biotilik perlu dilakukan sama pentingnya dengan

pemantauan kualitas air fisik kimia bakteriologi. Kelas mutu air indeks kualitas air (fisik, kimia, bakteriologi) dan kelas mutu air indeks biologi (biotilik atau *bioassay*) di suatu sungai diharapkan selaras, tidak saling kontradiktif dalam jumlah kelas dan makna status mutu air dari setiap kelasnya.

Sensitivitas Indeks PI, Storet, CCME

Sensitivitas dengan 17 parameter kualitas air, termasuk bakteriologi

Sensitivitas indeks kualitas air PI, Storet dan CCME dianalisis dari gambar pemetaan nilai masing-masing metode indeks kualitas air di masing-masing lokasi (sumbu y) dengan beban polutan (debit saat pengukuran dikali dengan konsentrasi COD kualitas airnya) (sumbu x) (Gambar 4). Berdasarkan 17 parameter kualitas air (termasuk bakteriologi) status indeks mutu air PI, CCME tercemar berat (*poor* atau *heavily polluted*) di hampir semua lokasi pemantauan, bahkan menurut Storet semua lokasi tercemar berat. Jika masing-masing metode indeks mutu air dihitung dengan 6 parameter kualitas air dalam OIP yaitu pH, TDS, BOD₅, DO, NO₃ dan F, tetapi plus bakteriologi (dimana DO, BOD₅, F, Total Coli tidak memenuhi baku mutu) juga menunjukkan status mutu air tercemar berat hampir di semua lokasi dan di sebagian besar datanya. Parameter kualitas air yang menjadi penyebab signifikan buruknya status mutu air dengan ketiga metode tersebut adalah bakteriologi (*E. coli* dan Total Coli) yang besaran nilai konsentrasinya sangat signifikan yaitu ratusan ribu hingga jutaan bakteri MPN/100 ml airnya. Menurut Tabel 4, karakter kualitas air sungai parameter bakteriologi di sungai Gadjah Wong selalu melebihi baku mutu di setiap lokasi pantau tersebut. Jika parameter ini dilibatkan dalam hitungan indeks kualitas air maka status mutu air di sungai Gadjah Wong hampir dipastikan selalu terpolusi berat (*heavily polluted*). Ketiga metode sangat sensitif terhadap satu parameter (bakteriologi) dengan konsentrasi sangat tinggi relatif terhadap baku mutunya. Ketiga metode sangat sensitif terhadap satu parameter (bakteriologi) dengan konsentrasi sangat tinggi relatif terhadap baku mutunya.

Sensitivitas metode PI dengan 15 dan 6 parameter kualitas air, tanpa bakteriologi

Selain bakteriologi, beberapa parameter kualitas air lain yang kadang hingga sering teramati tidak memenuhi baku mutu air permukaan kelas I ialah TSS, DO, BOD₅, COD, NO₂, PO₄, detergen, F, *Oil dan Grease* (9 parameter),

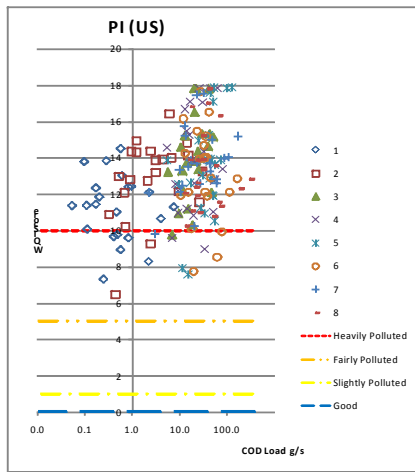
Pada Gambar 5(b), indeks PI dengan 6 parameter pH, TDS, BOD₅, DO, NO₃ dan F (DO,

BOD₅, F tidak memenuhi baku mutu) statusnya tercemar ringan (*slightly polluted*), sama dengan indeks PI dengan 6 parameter TSS, pH, DO, BOD₅, COD, NH₃N (TSS, DO, BOD₅, COD, tidak memenuhi baku mutu) di semua lokasi (Gambar 5(c)). Indeks PI dengan parameter semakin banyak (15 parameter dan 9 parameter tidak memenuhi baku mutu kelas I) status mutu airnya di semua lokasi 1 – 8 sedikit tercemar (*slightly polluted*) (Gambar 5(a)). Seluruh indeks PI di semua lokasi sampel dengan sedikit atau banyak parameter (Gambar 5(a-c)), masih dengan status mutu air yang sama yaitu sedikit terpolusi (*slightly polluted*). Kesimpulan, indeks PI dengan sedikit atau banyak parameter kualitas air (3, 4 atau 9 parameter tidak memenuhi baku mutu) tidak cukup sensitif membedakan kelas status mutu air di setiap lokasi sampel dan saat *sampling* kualitas airnya. Hal ini karena dalam metode PI, yang dianggap penting menentukan skor indeks PI adalah suatu parameter yang mempunyai (*Ci/Lij*) maksimum, dibanding rerata semua parameter kualitas airnya. Parameter yang dimaksud dalam Gambar 5(a-c) adalah salah satu dari parameter TSS, DO, BOD₅, COD, NO₂, PO₄, detergen, F, *Oil dan Grease*, parameter yang kadang atau sering tidak memenuhi baku mutu air permukaan kelas I, dimana nilai rasio (*Ci/Lij*) maksimum masing-masing parameter tersebut berkisar antara 0,4 hingga 6,2 sementara rerata (*Ci/Lij*) seluruh parameternya (3 hingga 9 parameter tidak memenuhi baku mutu) berkisar 0,4 hingga 3. Status mutu air dengan indeks PI, hanya dari satu (*single*) *sampling* kualitas air.

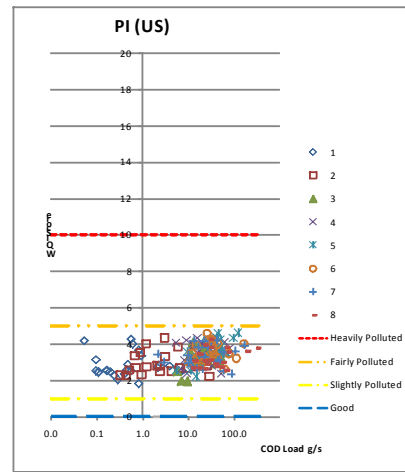
Sensitivitas metode Storet dengan 15 dan 6 parameter kualitas air, tanpa bakteriologi

Indeks Storet dengan 15 parameter (9 parameter tidak memenuhi baku mutu kelas I) status mutu airnya di hampir semua lokasi 1 – 8 adalah terpolusi berat (*heavily polluted*), dan pernah terpantau titik 1, 2, 3 dan 5 tercemar sedang (*fairly polluted*) (Gambar 6(a)). Tanpa parameter bakteriologi, skor Storet tetap membuat mutu airnya tercemar berat hampir di semua lokasi dan pengukuran. Hal ini karena jumlah skor dari 1 parameter fisika dan 8 parameter kimia yang tidak memenuhi ambang batasnya, (TSS, DO, BOD₅, COD, NO₂, PO₄, detergen, F, *oil dan grease*) cukup besar. Pada Tabel 1, skor parameter kimiawi 2x lebih besar dibanding skor parameter fisika, sementara skor parameter biologi 3x fisika. Demikian pula jika jumlah parameter signifikan (tidak memenuhi baku mutu) > 10 buah, maka skor masing-masing jenis parameter kualitas air tersebut ditentukan 2 kali lebih besar.

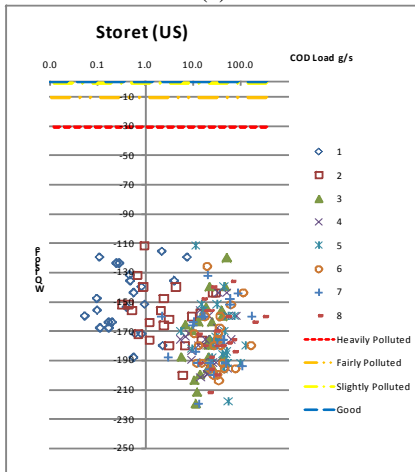
Indeks Storet hanya dengan 2-3 parameter signifikan, total skor, konsentrasi rerata, maksimum



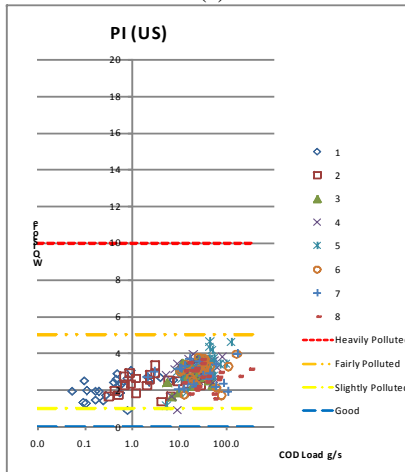
(a)



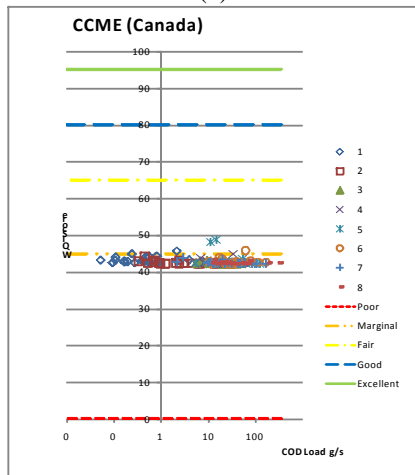
(a)



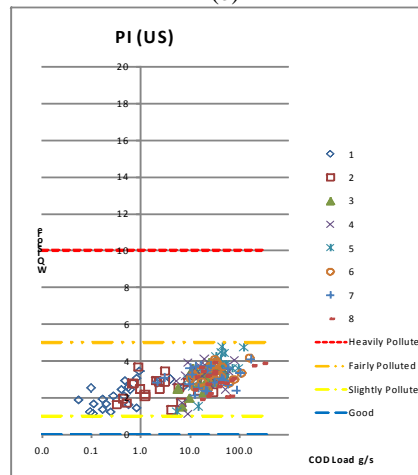
(b)



(b)



(c)



(c)

Gambar 4. Indeks PI, Storet dan CCME dengan 17 parameter (termasuk *E coli* dan Total Coliform).

Gambar 5. Indeks PI dengan 15 parameter tanpa bakteriologi, 6 parameter seperti OIP (non coliform) dan 6 parameter seperti INWQS DOE.

dan minimum parameter kualitas air tersebut relatif cukup besar terhadap total skor Storet membuat status tercemar berat. Indeks Storet (Gambar 6(b)) dengan 6 parameter pH, TDS, BOD₅, DO, NO₃ dan F (DO, BOD₅, F tidak memenuhi baku mutu) statusnya tercemar sedang (*fairly polluted*) di

hampir semua data di lokasi 1-8 mirip indeks Storet (Gambar 6(c)) dengan 6 parameter TSS, pH, DO, BOD₅, COD, NH₃N (TSS, DO, BOD₅, COD, tidak memenuhi baku mutu kelas I) status mutu air di hampir semua data lokasi 1-8. Hasil hitungan

indeks Storet (Gambar 6(c)) lebih jelek dibanding dengan indeks Storet pada Gambar 6(b).

Indeks Storet cukup sensitif merespon dinamika indeks kualitas airnya di setiap lokasi dengan sedikit atau banyak parameter. Semakin banyak parameter kualitas air diukur semakin banyak terpantau parameter tidak memenuhi baku mutu (dari nilai maksimum dan minimum parameter) dan semakin sering parameter tersebut tidak memenuhi ambang batas, akan semakin jelek status mutu airnya. Akan tetapi status indeks Storet sangat dipengaruhi oleh bobot parameter biologi (bakteriologi) dibandingkan kimia dan fisika. Dampak dari penentuan skor dalam Tabel 1, walau hanya dengan 3 atau lebih parameter kimiawi signifikan, status mutu air sudah bisa tercemar berat. Salah memilih/menentukan parameter ukur/parameter signifikan, dapat menyimpulkan status mutu air yang berbeda. Hal positif dari indeks Storet adalah bahwa indeks mutu air ini tidak mencerminkan data kualitas air instan (efek jangka pendek), status mutu air dihitung/disimpulkan dari serangkaian data hasil beberapa kali pengambilan spesimen kualitas air (efek jangka panjang).

Sensitivitas metode CCME dengan 15 dan 6 parameter kualitas air, (tanpa bakteriologi)

Hasil indeks berdasar CCME pada Gambar 7(a-c), menunjukkan bahwa status mutu air di sebagian besar data lokasi 1 dan 2 adalah *good* (dengan sedikit data status *excellence*), sebagian besar data lokasi 3-4 adalah sedang (*fair*). Mutu air terjelek di lokasi 5 dimana sebagian besar datanya sedang (*fair*) beberapa data agak jelek (*marginal*), kemudian berangsur membaik ke lokasi 6 dan 7 dimana jumlah data status *fair* dan *marginal* semakin menurun, semakin ke hilir membaik terus dimana separuh data lokasi 8 adalah *fair dan good*.

Pada lokasi yang sama, status mutu air CCME dengan 6 parameter OIP menunjukkan status mutu air yang "lebih baik" (Gambar 7(b)) dibandingkan indeks CCME dengan 6 parameter DOE (Gambar 7(c)). Informasi menarik dari hasil komparasi ini bahwa pemilihan jumlah dan jenis parameter yang tidak tepat untuk pemantauan air, bisa berakibat pada tidak teridentifikasinya parameter signifikan (yang tidak memenuhi baku mutu) yang bisa menjelaskan problem kualitas air yang mengakibatkan hitungan indeks mutu air tidak sesuai dengan kondisi sesungguhnya di sungai.

Semakin banyak parameter kualitas air yang diukur (Gambar 7(a)) semakin banyak parameter yang teridentifikasi tidak memenuhi baku mutu, membuat status indeks CCME di Gambar 7(b) dan 7(c), yang sebelumnya pada kategori *excellence* dan *marginal*, menjadi turun semakin mengumpul ke

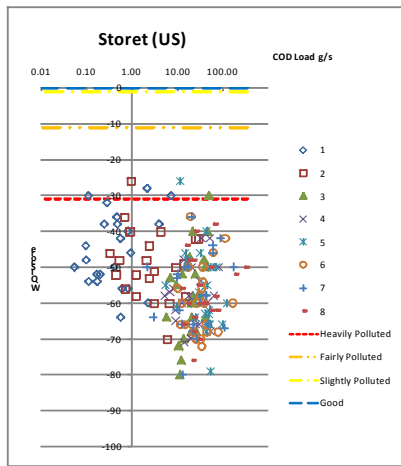
dalam kelas *good* dan *fair* (Gambar 7(a)). Kesimpulan Gambar 7(a-c), adalah bahwa metode CCME cukup sensitif merespon dinamika status mutu air menurut pertimbangan jumlah dan jenis parameter pemantauan kualitas air, di setiap lokasi (spasial) pemantauan pada setiap deret waktu pengambilan spesimen kualitas airnya (temporal).

Jika 6 parameter pH, TDS, F, BOD₅, DO, NO₃ dihitung dengan metode OIP dengan kriteria skor baku mutu di India, sebagian besar kasus di lokasi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 hingga 8 sangat baik (*excellent*) dan memenuhi syarat (*acceptable*), terburuk di lokasi 4 umumnya status *slightly polluted*, berangsur membaik semakin ke hilir (Gambar 8a). Jika dihitung dengan indeks INWQS DOE dengan 6 parameter, pH, TSS, DO, BOD₅, COD dan NH₃ (Gambar 8(b)) dengan baku mutu lokal Malaysia, status mutu air sungai Gajah Wong di sebagian besar data lokasi 1, 2 adalah bersih (*clean*, skor >80), sedangkan sebagian besar data lokasi 3-7 adalah sedikit tercemar (*slightly polluted*, 60 DOE < 80). Kualitas air terburuk di lokasi 5 dengan data *heavily polluted* tertinggi, berangsur membaik sampai lokasi 8 dengan separuh data statusnya masing-masing *slightly polluted dan clean*.

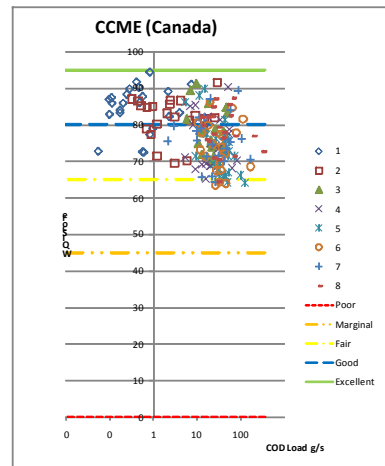
Dibanding PI dan Storet, Indeks CCME dengan 6 parameter pH, TSS, DO, BOD₅, COD dan NH₃ mempunyai dinamika status mutu air yang mirip dengan INWQS DOE. Sementara indeks CCME jika dihitung dengan 6 parameter pH, TDS, BOD₅, DO, NO₃, F berbeda dengan hasil indeks kualitas air OIP. India mempunyai jumlah penduduk yang besar dengan problem pencemaran kualitas air dari industri, domestik dan lainnya yang mirip dengan Indonesia. Namun sebagian India beriklim subtropis sementara Indonesia beriklim tropis. Malaysia dan Indonesia mempunyai iklim, lingkungan dan tantangan problem pencemaran yang hampir sama.

Penggunaan jumlah dan jenis parameter yang sama persis seperti dalam masing-masing metode indeks OIP dan INWQS DOE untuk sungai Gajah Wong, dengan menggunakan baku mutu di negara pengembangnya dirasa kurang tepat, lagi pula parameter-parameter kualitas air itu belum tentu parameter kualitas air sebagai target konservasi sungai Gajah Wong dan belum tentu parameter kualitas air signifikan yang bisa menjelaskan dinamika dan problem lingkungan di sungai.

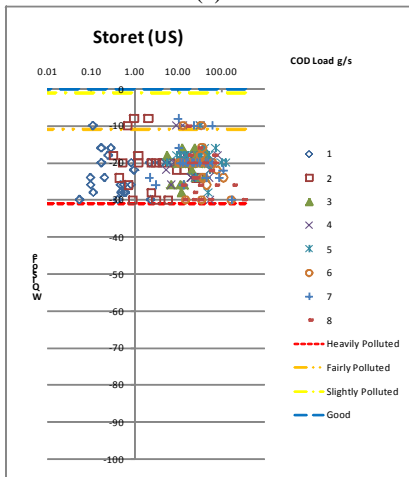
Terlepas dari benar tidaknya pH, TSS, DO, BOD₅, COD dan NH₃ adalah parameter signifikan di sungai Gajah Wong. Aplikasi indeks CCME dengan sedikit dan banyak parameter kualitas air serta dengan baku mutu lokal Indonesia mampu menggambarkan dinamika kelas mutu air di lokasi 1 – 8, mirip dengan respon indeks kualitas air



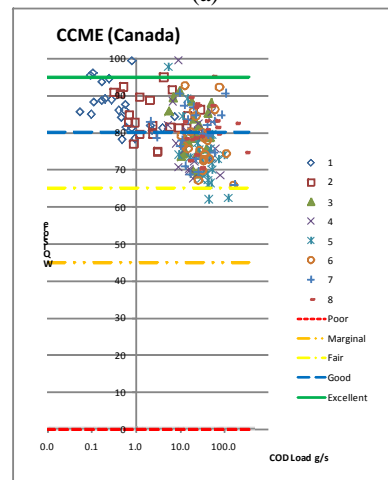
(a)



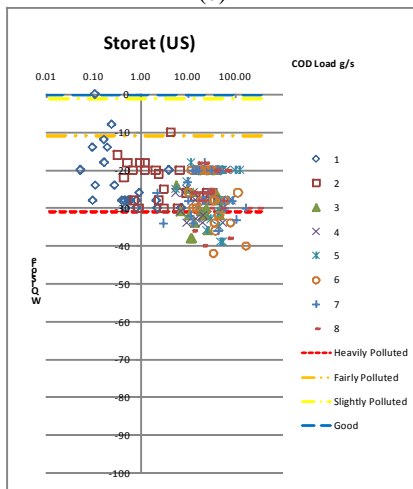
(a)



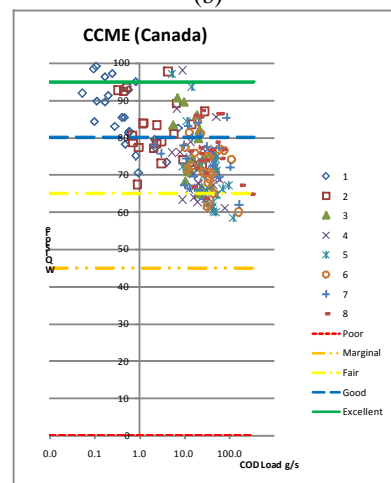
(b)



(b)



(c)



(c)

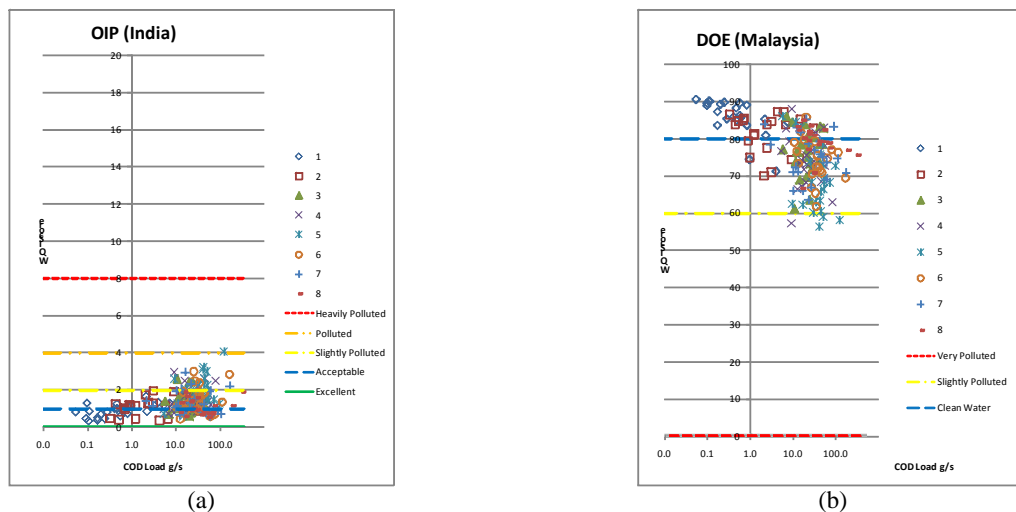
Gambar 6. Indeks Storet dengan 15 paramater tanpa bakteriologi, 6 paramater dalam OIP (non Coliform) dan 6 paramater dalam DOE.

Gambar 7. CCME 15 paramater tanpa bakteriologi, 6 paramater dalam OIP (non coliform) dan 6 paramater dalam DOE.

dengan metode lain dari daerah tropis dengan baku mutu lokal yang mirip dengan Yogyakarta.

Indeks PI mencerminkan kondisi sesaat kualitas air (fisik, kimia, dan bakteriologi), karena indeks PI disimpulkan dari hanya satu kali pengambilan

spesimen kualitas air serta hanya dipengaruhi oleh salah satu parameter kualitas air yang mempunyai nilai rasio (konsentrasi parameter terhadap baku mutu) termaksimum, dibanding nilai rasio rerata dari parameter-parameter yang melebihi baku mutu.



Gambar 8. Indeks kualitas air menurut 6 parameter OIP (non coliform) dan 6 parameter DOE.

Hal ini tentunya kurang tepat, karena secara logika semakin banyak parameter diukur dan semakin sering beberapa parameter kualitas air tidak memenuhi baku mutu, akan membuat status mutu air semakin jelek. Kemudian semakin besar selisih perbedaan konsentrasi dengan baku mutunya juga menyimpulkan status mutu air yang memburuk. Hal-hal tersebut yang menjadi dasar bentuk persamaan indeks kualitas air CCME yang menggambarkan prinsip-prinsip resiko lingkungan yang secara universal dapat diterapkan pada suatu sungai di negara lain. Namun untuk diaplikasikan di sungai tropis Gajah Wong, penetapan jumlah dan jenis parameter yang digunakan pada metode CCME perlu diadaptasi sesuai target tujuan konservasi kualitas air sungai yang multifungsi. Untuk memudahkan para praktisi dalam menentukan langkah pengelolaan sungai, adaptasi jumlah kelas mutu air CCME sebaiknya diringkas dari 5 kelas (*poor, marginal, fair, good, excellence*) menjadi 3 kelas (*heavily polluted, slightly polluted* dan *good*). Skor batas setiap kelas dan makna kelas dari metode CCME yang diadaptasi harus diverifikasi terhadap data lingkungan hasil biotilik atau *bioassay* di sungai tersebut, agar hasil indeks kualitas air tidak bertentangan status mutu air menurut indeks hasil biotilik, sehingga pengelolaan sungai selaras dengan prinsip kelestarian biota di sungai tersebut.

Hasil kajian sensitivitas PI, Storet dan CCME juga membuktikan bahwa semakin banyak jumlah dan jenis parameter kualitas air yang diukur dalam pemantauan kualitas air, semakin banyak kemungkinan teridentifikasinya parameter yang tidak memenuhi baku mutu. Dengan demikian indeks yang dihitung dari banyak parameter akan semakin baik/komprehensif menyimpulkan status mutu air. Akan tetapi perlu diingat bahwa data kualitas air yang sangat banyak dapat mengganggu analisis statistik data untuk menghasilkan *data*

quality assurance bagi perhitungan indeks kualitas airnya. Sebagai negara berkembang dan untuk menjaga kesinambungan dan konsistensi pengukuran program jangka panjang, pemantauan kualitas air dengan jumlah dan jenis parameter kualitas air yang tidak terlalu banyak, tapi bermutu lebih disarankan.

Dalam pengelolaan kualitas air sungai dan pengendalian pencemaran air sungai di Indonesia, baku mutu kelas air yang berlaku sekarang ini adalah berdasarkan penggunaan spesifik, ini bertentangan dengan tujuan konservasi sungai. Diduga ini menjadi salah satu dari banyak sumber penyebab masalah pencemaran sungai, yang mana saat ini telah mengalami bencana ekologi dan degradasi fungsi sungai. Baku mutu air sungai seharusnya menggunakan referensi kualitas air alamiahnya yang bersifat lokal dan spesifik untuk sungai tersebut serta mampu menjelaskan karakteristik kualitas air dan kesehatan ekosistem setempat. Generalisasi baku mutu dengan alasan kemudahan untuk kontrol pencemaran air di sungai membuktikan fakta tidak dipahaminya karakter dinamik "*self-natural purification capacity*" setiap sungai, sebagaimana yang pernah disampaikan oleh Nemerow (1985).

Sebagai perairan alamiah, parameter kualitas air EC di sungai perlu dimasukkan sebagai kriteria baku mutu perairan sungai karena mudah diukur dan merupakan parameter bermakna yang dapat menunjukkan dinamika kualitas perairan alami serta berkorelasi kuat dengan parameter TDS (Total Dissolved Solid) (Tebbut, 1998; Saraswati dkk, 2013).

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan kajian perbandingan bentuk dan sensitivitas beberapa IKA yang bermanfaat bagi usaha pengembangan metode baru IKA di sungai tropis di Indonesia adalah IP, Storet,

dan CCME sama-sama mempunyai fleksibilitas jumlah dan jenis parameter kualitas air untuk menentukan status mutu air. Namun fleksibilitas ini akan membuat ketidak seragaman dalam penggunaan parameter kualitas air yang penting untuk penentuan indeks kualitas air di suatu sungai. Jumlah dan jenis parameter kualitas air penting yang perlu digunakan dalam hitungan IKA untuk sungai tropis di Indonesia pada umumnya perlu dikaji lebih lanjut sehingga dapat menjelaskan dinamika kualitas air dan problem pencemaran yang terjadi.

Transformasi dan pembobotan parameter penting/signifikan dalam penentuan status mutu air pada metode CCME lebih obyektif dibandingkan metode lain. Kelebihan metode IP adalah dapat digunakan untuk menentukan status mutu air/perairan dari hanya 1 kali pengambilan spesimen kualitas air, sementara CCME dan Storet harus dengan data pantau lebih banyak. Kesimpulan mutu air dari pantauan kualitas air sesaat (*single sampling*) bermanfaat bagi kajian kontrol limbah di *off stream* sementara pantauan air periodik dan *time series* bermanfaat bagi kajian dampak polusi dengan fluktuasi yang menetap. Metode CCME paling sensitif merespon dinamika mutu air di setiap lokasi pemantauan, dengan dan tanpa parameter bakteriologi.

Kajian beberapa metode IKA ini memperlihatkan parameter kualitas air *E. coli* dan Total Coliform sangat dominan mempengaruhi status indeks mutu air sungai, seyogyanya parameter ini tidak digunakan dalam menghitung indeks status mutu air perairan sungai dengan tujuan multifungsi, karena beberapa alasan yaitu selama ini *E. coli* dan Total Coli belum menjadi baku mutu di *effluent* air limbah; di badan air sungai tropis secara alamiah bakteri cukup tinggi kecepatan tumbuhnya; bakteri Coliform belum tentu *pathogen* bagi kesehatan manusia, penerapan baku mutu Coliform ataupun *E. coli* hanya layak pada penerapan evaluasi sanitasi misal baku mutu target air sungai spesifik misal untuk air baku minum.

Electric conductivity (EC) selayaknya dilibatkan untuk evaluasi lingkungan khususnya kajian kesehatan/mutu perairan sungai. Dalam baku mutu yang berlaku di Yogyakarta dan nasional belum tercantum tolok ukur kualitas air ini bagi pengelolaan sungai.

Jumlah kelas mutu air dalam metode baru IKAs perlu dibatasi karena pertimbangan langkah lanjut pengelolaan kualitas air dan kemudahan kuantifikasi hubungan indeks kualitas air dengan aliran, bagi strategi operasional/manajemen sungai yang ekohidrolik. Jumlah kelas, skor batas setiap

kelas dan makna kelas harus diverifikasi terhadap data lingkungan lain misal dengan hasil biotilik atau *bioassay* air sungai sehingga hasil indeks kualitas air tidak bertentangan dengan status mutu air menurut indeks biotilik. Bagi pengelolaan sungai dibutuhkan sebuah indeks kualitas air penentu kesehatan perairan sungai yang dapat digunakan dari data pantau sesaat untuk pengendalian pencemaran air di *off stream* dan IKA dari data kualitas air pantau secara periodik untuk pengelolaan kualitas air di sungai yang bisa merefleksikan kondisi kesehatan biota airnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan Biro Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Yogyakarta atas dukungan data kualitas air sehingga penelitian ini dapat terealisasi dan berjalan dengan lancar. Penelitian ini terselenggara atas beasiswa Pasca Sarjana yang diberikan oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, kepada Penulis Pertama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, S.A., 2001. *Water Quality Indexes: State of the Art*. Centre for Pollution Control dan Energy Technology Pondicherry University, Pondicherry.
- Al-Mamun, A., and Idris, A., 2010. Revised Water Quality Indices for The Protection of Rivers in Malaysia. *Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12 2008*, Alexandria.
- Anonim, 2010. *Laporan Analisa Data Kualitas Air Sungai di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2010*. Badan Lingkungan Hidup (BLH) DIY, Yogyakarta.
- Anonim, 2011. STORET/ WQX Commonly Asked Questions, USEPA (United States Environmental Protection Agency). Available at (<http://www.epa.gov/storet/faq.html#101>) [9 Juni 2011].
- Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholomow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor J., dan Henriksen, J., 1998. *Stream Habitat Analysis using the Instream Flow Incremental Methodology*. USGS, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-19980004, viii +131pp.
- Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A., dan Tozer R.G., 1970. A Water Quality Index- Do We Dare?. *Water and Sewage Works*, 10: 339-343.
- Cairns J. Jr., dan Pratt, J.R., 1993. A History of Biological Monitoring Using Benthic

- Macroinvertebrates. In D.M. Roosenberg and V.M. Resh (eds.), *Freshwater Biomonitoring dan Benthic Macroinvertebrates*. Chapman dan Hall, New York.
- Dudgeon D., 2008. *Tropical Stream Ecology*. Elsevier, Oxford.
- Dwivedi S.L., dan Pathak V., 2007. A Preliminary Assignment of Water Quality Index to Mandakini River, Chitrakoot. *Indian Journal Environmental Protection*, 27 (11): 1036-1038.
- Ellenberg, H., Arndt U., Bretthauer, R., Ruhstatz B., dan Steubing L., 1991. *Biological Monitoring; Signals from the Environment*. Vieweg and Sons, Braunschweig.
- Johnson, R.K., Wiederholm T., dan Rosenberg D.M., 1993. Freshwater Biomonitoring Using Individual Organisms, Populations, and Species Assemblages of Benthic. In D.M. Roosenberg and V.M. Resh (eds.), *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman and Hall, New York.
- Kannel P.R., Lee S., Lee Y.S., Kanel S.R., dan Khan S.P., 2007. Application of Water Quality Indexes and Dissolved Oxygen as Indicators for River Water Classification and Urban Impact Assessment. *Journal of Environmental Monitoring Assessment*, 132: 93-110.
- Lewis Jr.,W.J., 2008. Physical and Chemical Features of Tropical Flowing Waters. in Dudgeon D., eds, *Tropical Stream Ecology*. Elsevier. Oxford.
- Lumb, A., Halliwell, D., dan Sharma, T., 2006. Application of CCME Water Quality Index to Monitor Water Quality: A Case of the Mackenzie River Basin Canada. *Environment Monitoring and Assessment*, 113: 411-429.
- Nemerow, N.L., 1985. *Stream, Lake, Estuary and Ocean Pollution*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. pp, 42-80.
- Nemerow, N.L., dan Sumitomo, H., 1970. *Benefits of Water Quality Enhancement, Report No, 16110 DAJ*. prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Syracuse University, Syracuse, NY, Nemerow, N.L., 1985, *Stream, Lake, Estuary and Ocean Pollution*, Van Nostrand Reinhold Company, New York. pp, 42-80.
- Novotny, V., 1996. Integrated Water Quality Management. *Water Science Technology*, 33 (4-5); 1-7.
- Ott, W.R., 1978. *Water Quality Indexes: A Survey of Indexes used in the United States*. US Environmental Agency, Washington DC.
- Parparove A., Hambright, K.D., Hakanson, L., dan Ostapania, A., 2006. Water Quality Quantification: Basic and Implementation. *Hydrobiologia*, 560: 227-237.
- Rosenberg, D.M., dan Resh, V.H., 1993. Introduction to Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. in Rosenberg, D.M. and Resh, V.H., eds. *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman and Hall, New York.
- Saffran, K., Cash, K., dan Hallard, K., 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. *CCME Water Quality Index 1,0 User's Manual*. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Saraswati, S.P., Sunjoto, B., Kironoto, A., dan Hadisusanto, S., 2013. Water Quality Monitoring and Data Quality Assurances. *Proceeding of the 4th International Seminar of HATHI*. 6-8 September 2013, Yogyakarta.
- Sargaonkar A., dan Deshpande V., 2003. Development of an Overall Index of Pollution for Surface Water based on A General Classification Scheme in Indian Context. *Environmental Monitoring and Assessment*, 89:43-67.
- Tebbutt, T.H.Y., 1998. *Principles of Water Quality Control*. 5th edition. Butterworth Heinemann, Oxford.
- Wills M., dan Irvine K.N., 1996. Application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index in the Cazenovia Creek. NY, *Pilot Watershed Management Project*. Middle States Geographer. pp 95 – 104.