

BIOASSESSMENT MENGGUNAKAN MAKROINVERTEBRATA BENTIK UNTUK PENENTUAN KUALITAS AIR SUNGAI CITARUM HULU

Barti Setiani Muntalif¹⁾, Kania Ratnawati¹⁾, Syamsul Bahri²⁾
¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL-ITB, Bandung
²⁾Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung
Telp. 022 2502647
email: barti_setiani@yahoo.com

Abstract

The aims of this research were to evaluate the potential of benthic macroinvertebrates community assemblages in predicting the river water quality status. Eight sampling station with various quality riparian were selected at the upper Citarum River in West Java, in order to determine changes in the benthic macroinvertebrates community associated with variability in water quality. Analysis of potential water pollution sources in assess the status of water quality in based on Physical-Chemical Index and three metrics biology of benthic macroinvertebrate to be correlated. The results showed that the water quality of upper Citarum River decreased as the river flew downstream into traditional dairy farm, urban area, and industrial area. Based on correlation test, the highest coefficient value was shown by Lincoln Quality Index (LQI) ($r = 0,97$) compared to Family Biotic Index (FBI) ($r = 0,89$), and Diversity Index (DI) ($r = 0,79$).

Keywords: Physical-Chemical Index, Diversity Index, Family Biotic Index, Lincoln Quality Index, benthic macroinvertebrate

1. PENDAHULUAN

Istilah umum pemantauan kualitas air adalah pemantauan terhadap parameter fisika dan kimia air, tetapi juga parameter biologinya, seperti halnya dalam pengertian biomonitoring (Rosenberg dan Resh, 1993). Organisme makroinvertebrata benthik merupakan organisme akuatik yang mendapatkan paparan secara akumulatif, akibat perubahan kualitas air selama hidupnya. Oleh karena itu, organisme ini dapat merefleksikan keadaan lebih awal ketika kondisi lingkungan berubah menjadi buruk. Keadaan ini akan memberikan keuntungan dalam menganalisis kondisi lingkungan yang telah lalu, seperti halnya keadaan lingkungan saat sampling (Rosenberg dan Resh, 1993).

Mikroorganisme air lainnya, seperti protozoa bersilia, alga atau bakteri perifiton, hanya merefleksikan kualitas air satu atau dua minggu sebelum aktivitas sampling dan analisis dilakukan. Sebaliknya larva insekta,

cacing-cacingan, keong-keongan, dan makroinvertebrata benthik lainnya merefleksikan lebih dari satu bulan sebelumnya, dan mungkin juga tahunan (UNESCO/WHO/UNEP, 1992). Oleh karena itu keadaan kualitas air sungai dapat secara efektif dianalisis menggunakan organisme makroinvertebrata benthik (Welch dan Lindell, 1992).

Norris dan Thoms (1999) dalam Sudarso (2003) menekankan tentang pentingnya penggunaan materi biologi guna menilai kondisi kesehatan sebuah sungai. Di samping pengukuran terhadap parameter secara fisik dan kimia secara terpadu, karena pengaruh kerusakan lingkungan perairan oleh polusi biasanya akan berdampak negatif bagi biota sungai sebagai titik akhirnya. Organisme makro-invertebrata benthik sangat sensitif terhadap berbagai perubahan dan gangguan yang terjadi di sungai terutama akibat bahan organik. Oleh karena itu organisme tersebut dapat dijadikan sebagai bioindikator pencemaran air sungai akibat bahan organik.

Analisis biologi untuk menentukan kualitas air, badan air serta efluen limbah cair dapat didekati salah satunya dengan menggunakan metoda ekologi. Metoda ekologi untuk menganalisis kualitas air sungai dapat memanfaatkan organisme makroinvertebrata bentik yang dibagi ke dalam dua kelompok objek yang diteliti. Kelompok pertama adalah terhadap jenis organisme makroinvertebrata bentik sebagai indikator dan kelompok kedua adalah komunitas makroinvertebrata bentik secara keseluruhan (UNESCO/WHO/UNEP, 1992). Pada penelitian ini kedua metode tersebut digunakan dalam menganalisis kualitas air sungai. Metode ekologi dengan makroinvertebrata bentik sebagai bioindikator menggunakan metrik *Family Biotic Index* (FBI) dan *Lincoln Quality Index* (LQI), sedangkan yang didasarkan pada komunitas makroinvertebrata bentik secara keseluruhan menggunakan indeks Shannon-Wiener. Semua metoda ekologi tersebut awalnya dikembangkan di daerah beriklim sub-tropik.

Tujuan penelitian ini adalah: (a) menentukan sumber-sumber pencemar potensial di sekitar Sungai Citarum bagian hulu, (b) menentukan status mutu air Sungai Citarum bagian hulu menggunakan indeks kimia-fisika, (c) menentukan status mutu air Sungai Citarum bagian hulu menggunakan pendekatan indeks biotik dari FBI dan LQI, serta indeks diversitas dari Shannon-Wiener, (d) menguji korelasi indeks kimia-fisika (IKF) terhadap FBI, LQI dan indeks diversitas dari Shannon-Wiener.

2. METODOLOGI

Metoda penelitian yang digunakan adalah metoda survey. Penelitian dilakukan di Sungai Citarum bagian hulu mulai dari daerah Gunung Wayang hingga Margahayu (Tabel 1 dan Gambar 1). Waktu penelitian dilakukan pada waktu musim kemarau, yaitu bulan Juli sampai Desember 2006. Pengambilan dan analisis contoh air dilakukan di tempat (*in situ*) dan di laboratorium. Parameter kualitas air yang dianalisis dan dikaji adalah parameter

yang berkaitan dengan pencemaran air akibat bahan organik di perairan dan tidak melingkupi parameter lainnya (seperti logam berat). Adapun parameter pencemar air tersebut meliputi temperatur, pH, DO, DHL, BOD, amonium, nitrat dan orthofosfat. Metoda analisis kualitas air yang digunakan dalam penelitian adalah Standar Nasional Indonesia (SNI). Nilai IKF dihitung dengan rumus:

$$IKF = \prod_{i=1}^n Qi^{wi} = Q1^{w1} \times \dots \times Qn^{wn}$$

dimana:

IKF = Indeks kimia-fisika dengan nilai 0-100

n = Parameter yang dihitung sebanyak 8 buah

Qi = Sub-indeks parameter i, nilai 0-100

Wi = Faktor parameter i dengan nilai 0-1.

Tabel 1. Lokasi Pengamatan Kualitas Air Sungai Citarum Bagian Hulu

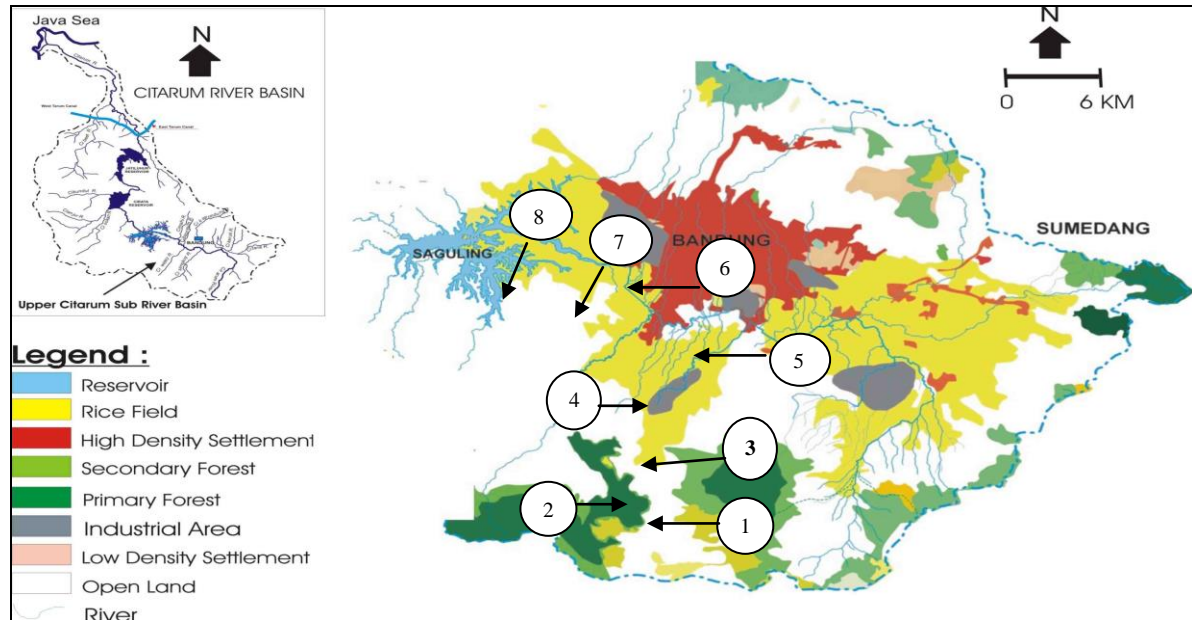
No peta	Lokasi Pemantauan	Koordinat
1.	Gunung Wayang	07° 12' 21" LS 107° 39' 35" BT
2.	Kampung Cikitu	07° 12' 06" LS 107° 39' 55" BT
3.	Kampung Babakan	07° 08' 38" LS 107° 41' 59" BT
4.	Wangisagara	07° 04' 29" LS 107° 44' 53" BT
5.	Majalaya	07° 03' 02" LS 107° 45' 24" BT
6.	Koyod	07° 00' 55" LS 107° 43' 29" BT
7.	Dayeuhkolot	06° 59' 23" LS 107° 37' 29" BT
8.	Margahayu	06° 59' 10" LS 107° 33' 43" BT

Untuk mengevaluasi nilai IKF digunakan skoring dari LAWA (Tontowi, Kuslan, dan Aversch, 1993), pengkelasan dan kriteria kualitas air berdasarkan klasifikasi saprobik (Tabel 2) (Sharma dan Moog, 2006).

Pengambilan contoh makroinvertebrata bentik dilakukan dengan metode *traveling kick-net* menggunakan alat Surber Net berbentuk segi empat berpori-pori sebesar 0,5 mm (APHA-AWA-WEF, 1995). Prosedur sub-sampling dilakukan dengan menggunakan alat berupa kotak grid subsampler (Hillsenhoff, 1988, dalam Sudarso, 2003). 100 individu diambil

secara acak, disortir dan diidentifikasi (Resh dan Jackson, 1993). Jika jumlahnya kurang dari 100 individu, maka dilakukan dengan cara sensus. Analisis metrik makroinvertebrata

bentik yang digunakan adalah: metode FBI, metoda *LQI* dan metoda *Shannon-Wiener*. Masing-masing metode akan dibahas selanjutnya.



Keterangan: 1. Gunung Wayang, 2. Kp. Cikitu, 3. Kp. Babakan, 4. Wangisagara, 5. Majalaya, 6. Koyod, 7. Dayeuhkolot, 8. Margahayu

Gambar 1. Peta Lokasi Pengamatan di Sungai Citarum Bagian Hulu, Jawa Barat (Anonim, 2006d)

Tabel 2. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Nilai IKF

Nilai Indeks	Kriteria Kualitas Air
0 - 16	Tercemar ekstrim
17 - 26	Tercemar Sangat Berat
27 - 43	Tercemar Berat
44 - 55	Tercemar Kritis
56 - 72	Tercemar Sedang
73 - 82	Tercemar Ringan
83 - 100	Tidak Tercemar

Metode Family Biotic Index (FBI)

Metode ini dikembangkan oleh Hillsenhoff, sehingga dikenal sebagai metode Hillsenhoff Biotic Index (Hillsenhoff, 1988 dalam Resh dan Jackson, 1993) dengan rumus berikut:

$$FBI = \frac{n_i \times T}{N}$$

di mana,

n_i = jumlah individu spesies ke i ,

T = nilai toleransi dari masing-masing famili

N = jumlah total dari individu dalam sampel

Kisaran nilai FBI dan kriteria kualitas air disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Nilai Family Biotic Index (FBI)

Nilai indeks	Kriteria Kualitas Air
> 7,26	Sangat buruk
6,51 – 7,25	Buruk
5,76 – 6,50	Cukup buruk
5,01 – 5,75	Sedang
4,26 – 5,00	Baik
3,76 – 4,25	Sangat baik
0,00 - 3,75	Ekselen

Metoda Lincoln Quality Index (LQI)

Metoda ini dikenalkan oleh Leeds-Harrison *et al.*, (1996) dalam Sudarso (2003) dengan mengembangkan LQI dan *Overall Quality Rating* (OQR). Kedua nilai tersebut berasal dari penggabungan nilai indeks BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) dan ASPT (*Average Score Per Taxon*) yang sudah dinormalisasi guna menghasilkan sebuah nilai indeks tunggal. Derivat dari nilai OQR adalah LOI yang berupa *grade* huruf yang mencerminkan status pencemaran air sungai. Penghitungan nilai OQR dengan rumus:

$$OQR = \left[\frac{(Rating X + Rating Y)}{2} \right]$$

di mana:

X = nilai normalisasi untuk indeks BMWP

Y = nilai normalisasi untuk ASPT

Semakin awal kriteria dari huruf alfabet LQI, maka kualitas airnya semakin berangsur angsur membaik (Tabel 4).

Tabel 4. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Nilai OQR dan LQI

OQR	LQI	Kriteria Kualitas Air
>6,0	A++	Kualitas ekselen
5,5	A+	Kualitas ekselen
5,0	A	Kualitas ekselen
4,5	B	Kualitas baik
4,0	C	Kualitas baik
3,5	D	Kualitas sedang
3,0	E	Kualitas sedang
2,5	F	Kualitas buruk
2,0	G	Kualitas buruk
1,5	H	Kualitas sangat buruk
1,0	I	Kualitas sangat buruk

Metoda Shannon-Wiener

Diversitas atau keanekaragaman oleh Cairns dan Dickson (1971) dalam Sudarso (2003) didefinisikan, sebagai sebuah pernyataan tentang ketidakpastian yang ada pada spesies dari sebuah individu spesimen yang terseleksi secara random pada komunitas. Diversitas spesies seringkali merefleksikan integritas dari sebuah komunitas biologi yang ada dan dapat dihubungkan dengan kondisi kualitas lingkungan perairan. Indeks diversitas dari Shannon-Wiener merupakan indeks yang paling umum digunakan bagi manajemen lingkungan dan berfungsi sebagai alat bantu dalam menggambarkan struktur komunitas dan mendeteksi besarnya degradasi pada ekosistem akuatik (Reynoldson dan Metcalfe-smith, 1992 dalam Sudarso, 2003). Rumus indeks diversitas yang paling sering dipakai adalah dari Shannon-Wiener (Peilou, 1969):

$$H' = - \sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

di mana:

H' = indeks diversitas

n_i = Jumlah individu dalam satu spesies

N = Jumlah total individu spesies

Studi yang telah dilakukan oleh Wilhm dan Dorris (1966) dalam Sudarso (2003), memberikan kriteria kualitas air terhadap indeks diversitas dari Shannon-Wiener untuk menilai status pencemaran organik pada sungai (Tabel 5).

Tabel 5. Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Nilai Indeks Diversitas Shannon-Wiener

Nilai Indeks	Kriteria Kualitas Air
> 3,0	Air bersih/ belum terpolusi
1,0 – 3,0	Air tercemar sedang
< 1,0	Air Tercemar berat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Pencemar Potensial Sekitar Sungai Citarum Bagian Hulu

Jika ditelusuri dari awalnya, Sungai Citarum bermula mengalir dari wilayah Desa Tarumajaya, Kecamatan Kertasari, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Lokasi desa ini berada sekitar 40 Km sebelah Tenggara Kota Bandung dengan ketinggian 1.580 meter dari permukaan laut (dpl). Akibat dari kondisi kemiskinan sejak lama, sebagian penduduk di desa ini mengembangkan usaha memelihara sapi perah tradisional (Anonim, 2006a). Akan tetapi, kegiatan usaha tersebut kurang memperhatikan kelestarian lingkungan di sekitar mata air Sungai Citarum. Dari hasil pengamatan, beberapa peternak sapi kadang-kadang membuang kotoran sapi ke aliran air Sungai Citarum.

Berdasarkan hasil penelitian Pusat Penelitian Sumber Daya Alam dan Lingkungan UNPAD, jenis bakteri yang berasal dari kotoran sapi itu dapat ditemukan beberapa ratus meter dari sumber mata air Citarum (Anonim, 2006a). Demikian juga hasil penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, yang mengindikasikan adanya sumber pencemar dari limbah hewan, berdasarkan hasil pemantauan terhadap perbandingan *fecal coli* dan *fecal streptococci* di daerah Wangisagara (Mahbub dan Haarcorryati, 1993). Limbah kotoran hewan tersebut berdasarkan hasil pengamatan berupa kotoran

sapi. Sumber kotoran sapi di antaranya berasal dari kegiatan peternakan sapi perah tradisional di daerah Desa Tarumajaya (Anonim, 2006a).

Hasil penelitian Pusat Litbang Sumber Daya Air dan Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Propinsi Jawa Barat tahun 2001 menyatakan sumber limbah yang menyebabkan penurunan kualitas air Sungai Citarum bagian hulu-tengah terdapat di enam sumber (Anonim, 2001). Keenam sumber limbah tersebut adalah: populasi penduduk, perkembangan industri, ekstensifikasi dan intensifikasi lahan pertanian, pengembangan perikanan, populasi ternak serta eksplorasi bahan tambang/galian C.

Berdasarkan hasil pengamatan, sumber pencemar yang diprediksi mempengaruhi kualitas air Sungai Citarum bagian hulu dikelompokkan ke dalam empat jenis. Keempat jenis sumber pencemar tersebut, yaitu limbah cair dari kegiatan peternakan sapi perah tradisional, pertanian, penduduk, dan industri (khususnya industri tekstil). Tiga jenis limbah di atas, yaitu limbah cair dari peternakan sapi perah tradisional, penduduk, dan industri (khususnya industri tekstil) termasuk kategori limbah dengan kandungan bahan organik tinggi. Jika limbah organik masuk ke perairan, maka salah satu karakteristiknya adalah menyebabkan deplesi oksigen terlarut. Dengan demikian kasus pencemaran air Sungai Citarum bagian hulu termasuk pencemaran organik.

Kualitas Air Sungai Citarum Bagian Hulu Berdasarkan IKF, FBI, LQI, dan ID Lokasi Gunung Wayang

Lokasi ini berada pada 1,586 m dpl. Kondisi air Sungai Citarum setelah melalui bendung Cisanti kualitasnya menunjukkan kriteria belum tercemar, dengan nilai rata-rata IKF 87,56 (Tabel 6). Secara kasat mata, air yang mengalir di sungai daerah Gunung Wayang terlihat jernih, sehingga dasar sungai terlihat jelas. Kedalaman sungai sekitar 20-30 cm dan kecepatan air sungai yang lambat sekitar 0,38

m/det. Kondisi dasar sungai terdiri dari batuan, lumpur, dan sedikit sisa tumbuhan.

Tabel 6. Nilai Indek Kimia-Fisika (IKF) Sungai Citarum Bagian Hulu

No	Lokasi Pemantauan	Rata-rata	Kriteria Kualitas Air
1.	Gunung Wayang	89,60	Tidak tercemar
2.	Kp. Cikitu	29,10	Tercemar berat
3.	Kp. Babakan	64,62	Tercemar sedang
4.	Wangisagara	68,76	Tercemar sedang
5.	Majalaya	19,10	Tercemar sangat berat
6.	Koyod	11,54	Tercemar ekstrim
7.	Dayeuhkolot	11,71	Tercemar ekstrim
8.	Margahayu	11,25	Tercemar ekstrim

Daerah pinggiran sungai ditumbuhi macam-macam tumbuhan dan ditemukan juga tumbuhan selada air (*Nasturtium microphyllum*). Tumbuhan selada air ini berkembangbiak cukup baik di daerah ini. Penduduk sekitar sering mememanennya untuk digunakan sebagai sayuran. Karakteristik tumbuhan ini sangat sensitif terhadap pencemaran, sehingga habitat perairan dingin dan bersih sangat dibutuhkan untuk perkembangbiakannya (Huxley, 1992). Keadaan tersebut ditunjang oleh kondisi kualitas airnya, seperti parameter temperatur mencapai nilai 19,4-22,0°C, kadar oksigen terlarut antara 6,74-7,26 mg/L, nilai BOD antara 1,5-2,1 mg/L, nilai kekeruhan antara 1,4-7,2 NTU dan nilai pH 7,06-7,51.

Dengan kondisi sungai seperti itu, diharapkan kehidupan makroinvertebrata bentik di lokasi pengamatan ini merupakan cerminan kondisi air yang masih baik. Dari hasil pengamatan ditemukan organisme makroinvertebrata bentik seperti nimfa lalat sehari perenang (*Baetis sp.*), udang air tawar (*Paratya sp.*), kumbang air (*Hydrochus sp.*), moluska. Beberapa kelompok makroinvertebrata bentik tersebut merupakan indikator kualitas air baik dan sedang (Anonim, 2004). Berdasarkan perhitungan indeks FBI dan indeks diversitasnya, kriteria kualitas air di lokasi ini termasuk tercemar sedang dengan nilai rata-rata indeks sebesar 4,97 dan 2,18 (Tabel 7 dan 9). Lain

halnya hasil perhitungan LQI yang menunjukkan kriteria air belum tercemar/ekselen dengan nilai rata-rata indeks OQR 5,10 (Tabel 8).

Tabel 7. Nilai *Family Biotic Index* (FBI) Sungai Citarum Bagian Hulu

No	Lokasi Pemantauan	Rata-rata	Kriteria Kualitas Air
1.	Gunung Wayang	4,98	Baik
2.	Kp. Cikitu	7,77	Sangat buruk
3.	Kp. Babakan	4,97	Baik
4.	Wangisagara	5,22	Sedang
5.	Majalaya	7,98	Sangat buruk
6.	Koyod	7,60	Sangat buruk
7.	Dayeuhkolot	6,46	Cukup buruk
8.	Margahayu	6,94	Buruk

Tabel 8. Nilai *Lincoln Quality Index* (LQI) Sungai Citarum Bagian Hulu

No	Lokasi Pemantauan	Rata-rata	Kriteria Kualitas Air
1.	Gunung Wayang	5,10	Ekselen
2.	Kp. Cikitu	2,25	Buruk
3.	Kp. Babakan	4,20	Sedang s.d. Baik
4.	Wangisagara	3,80	Sedang
5.	Majalaya	1,38	Sangat Buruk
6.	Koyod	1,80	Buruk s.d. sangat buruk
7.	Dayeuhkolot	1,80	Buruk s.d. sangat buruk
8.	Margahayu	1,90	Buruk s.d. sangat buruk

Tabel 9. Nilai Indeks Diversitas Sungai Citarum Bagian Hulu

No	Lokasi Pemantauan	Rata-rata	Kriteria Kualitas Air
1.	Gunung Wayang	2,18	Tercemar sedang
2.	Kp. Cikitu	0,55	Tercemar berat
3.	Kp. Babakan	2,30	Tercemar sedang
4.	Wangisagara	2,36	Tercemar sedang
5.	Majalaya	0,77	Tercemar berat
6.	Koyod	0,70	Tercemar berat
7.	Dayeuhkolot	1,54	Tercemar sedang
8.	Margahayu	1,35	Tercemar sedang

Di sekitar daerah hulu sungai, sekitar ± 50 m ke arah hilir dari bendung Cisanti, terdapat banyak peternakan sapi perah tradisional. Dari hasil pengamatan menunjukkan umumnya para peternak sapi di daerah ini belum mengembangkan suatu sistem pengolahan limbah cairnya. Limbah cair yang dihasilkan dibuang langsung atau melalui saluran air yang bermuara ke Sungai Citarum. Sumber limbah cair berasal dari kegiatan pencucian kandang

yang banyak mengandung limbah padat kotoran ternak dan air bekas memandikan sapi. Berdasarkan data tahun 2002 dari Kementerian Lingkungan Hidup, terdapat kurang lebih 2.700 ekor sapi di Desa Tarumajaya tersebut. Di antara jumlah tersebut 900 ekor sapi berada di sekitar Sungai Citarum dan yang persis di samping Sungai Citarum berjumlah 400 ekor (Anonim, 2002).

Apabila prediksi tahun 2002 tidak banyak perubahan hingga tahun 2006, maka berdasarkan perhitungan beban pencemarnya menurut kriteria WHO tahun 1982, beban pencemaran parameter BOD-5 diperkirakan mencapai 890,37 Kg per hari, TSS diperkirakan 6,11 ton per hari dan total N sebesar 286 Kg per hari dengan volume limbah 71,89 m³/hari (Bahri, 2007). Dengan demikian beban limbah organik ke sungai ini sejak dari bagian hulu sudah cukup berat.

Lokasi Kampung Cikitu

Lokasi Sungai Citarum di Kampung Cikitu berada pada 1.513 m dpl. Lokasi ini berada setelah peternakan sapi perah tradisional di Kampung Citarum, Desa Tarumajaya. Banyaknya peternakan sapi di sekitar Sungai Citarum, seperti di Kampung Citarum telah menyebabkan keruhnya air di hulu Sungai Citarum (Anonim, 2002). Di samping limbah cairnya yang dibuang, diduga limbah padat pun dibuang ke sungai tersebut secara langsung. Dari hasil pengamatan terhadap Sungai Citarum di lokasi Kampung Cikitu yang berjarak sekitar 200 m dari lokasi peternakan sapi, kondisi dasar sungai ini hampir 100 % adalah limbah padat kotoran ternak berwarna hijau tua. Dugaan kuat, bahwa sebagian besar peternak sapi membuang limbah padatnya ke Sungai Citarum.

Kriteria kualitas air Sungai Citarum menurut indeks kimia-fisika di lokasi ini dikategorikan telah mengalami pencemaran yang berat. Nilai rata-rata indeks kimia-fisikanya sebesar 29,10 (Tabel 6). Dasar sungai banyak mengandung sisa-sisa kotoran ternak yang masih segar dan warna air keruh kehijauan merupakan habitat

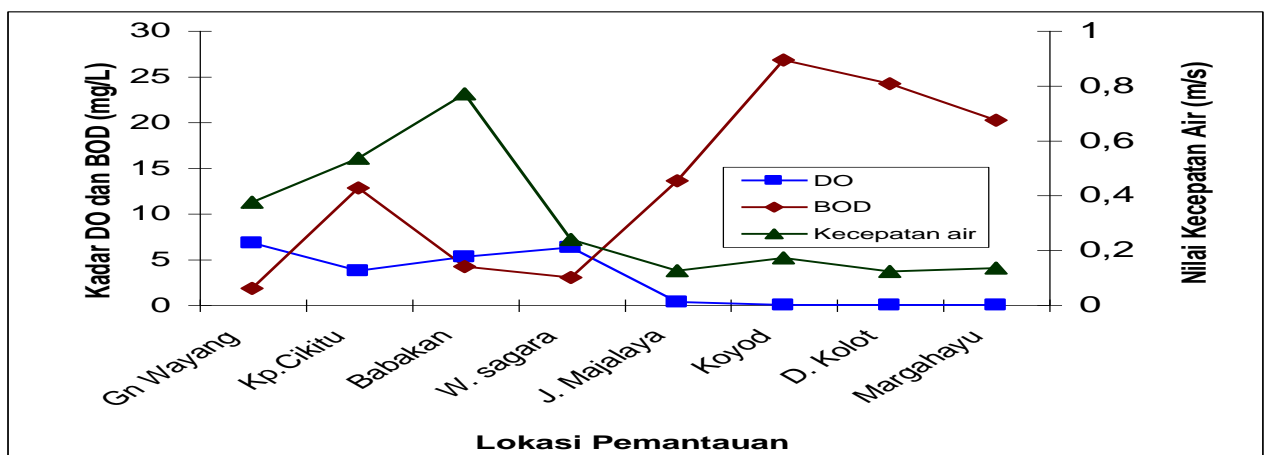
yang baik bagi cacing merah. Di lokasi ini banyak ditemukan makroinvertebrata bentik dari Ordo Diptera dari famili Chironomidae, yaitu *Chironomus sp.* yang dikenal dengan cacing merah (larva mrutu biasa). Organisme air ini merupakan bioindikator terjadinya pencemaran air yang buruk hingga sangat buruk/kotor (Anonim, 2004). Keadaan tersebut ditunjang oleh kondisi kualitas airnya, seperti parameter nilai BOD antara 5,3-16,2 mg/L dan nilai kekeruhan 21,4-54,0 NTU.

Berdasarkan perhitungan indeks LQI dan FBI, kriteria kualitas air di lokasi tersebut termasuk buruk hingga sangat buruk dengan nilai rata-rata indeks sebesar 7,64 (Tabel 7) dan 2,25 (Tabel 8), sedangkan penilaian indeks diversitas sebesar 0,55 adalah tercemar berat (Tabel 9). Sebenarnya, jika tidak ada limbah organik (limbah cair peternakan sapi perah tradisional) yang masuk ke Sungai Citarum, kadar oksigen di lokasi Kampung Cikitu dapat lebih baik. Di lokasi ini terjadi turbulensi air oleh batuan dan memiliki kecepatan air yang lebih besar yang membantu proses reaerasi (Gambar 2). Berdasarkan hasil pengukuran, kadar oksigen terlarut di lokasi ini antara 2,22-3,83 mg/L. Nilai parameter oksigen terlarut tersebut lebih rendah dibandingkan dengan lokasi pertama (Gunung Wayang) sebesar

6,74-7,26 mg/L. Dengan demikian kadar oksigen terlarut antara 2,22-3,83 mg/L telah menjadi faktor pembatas (*limiting factor*) bagi kehidupan makroinvertebrata bentik di lokasi tersebut. Sebagai dampak dari tingginya kandungan limbah organik yang menyebabkan tingginya kebutuhan oksigen terlarut oleh mikroba untuk proses degradasi/ perombakan materi organik (Gambar 2). Di lokasi ini proses purifikasi alami tidak mampu melawan beban limbah organik yang cukup besar, sehingga nilai IKF menjadi turun (Tabel 6).

Lokasi Kampung Babakan

Antara lokasi Kampung Cikitu dan Kampung Babakan, dilihat topografinya terdapat perbedaan ketinggian sekitar 453 m. Perbedaan ketinggian tempat tersebut akan sangat berpengaruh terhadap kualitas air Sungai Citarum ke arah perbaikan di bagian hilirnya (Kampung Babakan). Di daerah ini kecepatan airnya mencapai rentang antara 0,77-0,85 m/detik. Berdasarkan hasil analisis, beberapa parameter kualitas air Sungai Citarum di lokasi ini mengalami perbaikan, seperti DO, BOD (Gambar 2). Nilai rata-rata indeks kimia-fisika di lokasi Kampung Babakan ini mengalami peningkatan menjadi 64,62 dan kriteria kualitas air termasuk tercemar sedang (Tabel 6).



Gambar 2. Fluktuasi Kadar BOD, DO dan Nilai Kecepatan Air

Di lokasi pengamatan Kampung Babakan, makroinvertebrata bentik dominan yang ditemukan terdiri dari *Hydropsyche sp.* (larva ulat air), *Simulium sp.* (larva lalat bunga),

Baetis sp. (nimfa lalat sehari perenang), dan *Caenis sp.* (nimfa lalat sehari insang segiempat). Dari keempat jenis makroinvertebrata bentik tersebut di antaranya

merupakan indikator kualitas air baik dan tercemar sedang (Anonim, 2004). Berdasarkan perhitungan FBI dan LQI di daerah Kampung Babakan kriteria kualitas air termasuk baik dengan nilai rata-rata 4,98 (Tabel 7) dan 4,20 (Tabel 8). Akan tetapi dilihat dari indeks diversitasnya, lokasi ini termasuk kriteria kualitas air tercemar sedang dengan nilai 2,30 (Tabel 9).

Lokasi Wangisagara

Lokasi Sungai Citarum di daerah Wangisagara berada pada ketinggian 723 m dpl. Kualitas air Sungai Citarum di lokasi ini, berdasarkan perhitungan IKF, kriterianya termasuk tercemar sedang. Nilai rata-rata IKF di daerah Wangisagara mencapai rata-rata 68,76 (Tabel 6). Nilai IKF di lokasi ini lebih tinggi sedikit dibandingkan dengan lokasi sebelumnya sebesar 4,14. Kondisi ini diduga ada kaitannya proses purifikasi alami yang terjadi di sungai ini antara daerah Kampung Babakan hingga Wangisagara. Dilihat dari topografinya, terjadi perbedaan ketinggian sebesar 335 m. Adanya perbedaan ketinggian topografi tersebut ternyata membantu proses reaerasi alami. Kenaikan kadar oksigen terlarut di lokasi Wangisagara mencapai rentang nilai 0,31-0,38 mg/L lebih tinggi dibanding dengan lokasi Kampung Babakan (Gambar 2). Kecepatan airnya mencapai 0,24-0,36 m/detik.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap makroinvertebrata bentik ditemukan dua jenis yang dominan, yaitu *Baetis* sp. (nimfa lalat sehari perenang) dan *Chironomus* sp. (larva mrutu biasa). Dari dua jenis makroinvertebrata tersebut diantaranya merupakan indikator kualitas air sedang dan buruk (Anonim, 2004). Berdasarkan perhitungan FBI di daerah Wangisagara kriteria kualitas air termasuk sedang dengan nilai rata-rata sebesar 5,22 (Tabel 7). Menurut perhitungan indeks LQI, kriteria kualitas airnya termasuk kualitas baik hingga sedang dengan nilai OQR 3,80 (Tabel 8). Menurut perhitungan indeks diversitasnya, termasuk kriteria air tercemar sedang dengan nilai indeks rata-rata 2,36 (Tabel 9).

Lokasi Jembatan di Kota Majalaya

Lokasi Sungai Citarum dari Kota Majalaya hingga lokasi pengamatan terakhir, topografinya relatif datar dengan ketinggian 600-an m dpl. Sungai Citarum saat memasuki daerah perkotaan Majalaya, kualitas kembali mengalami penurunan, akibat masuknya limbah domestik dan air limbah industri. Seperti terlihat dalam Gambar 2, di lokasi 5 (Jembatan Jalan Raya Majalaya), kadar parameter BOD mengalami peningkatan dan diikuti dengan penurunan kadar DO hingga mencapai 0 mg/L. Nilai IKF di lokasi ini sebesar 19,10. Kriteria kualitas air di lokasi tersebut pun berubah menjadi tercemar sangat berat (Tabel 6).

Penyebab utama penurunan kualitas air Sungai Citarum di lokasi 5 ini diduga kuat adalah limbah domestik dan industri tekstil di Majalaya. Hal ini terlihat cukup jelas, saat sampling di lokasi tersebut, banyak ditemukan sisa-sisa makanan dan tinja yang telah membusuk. Di samping juga banyaknya limbah padat organik yang berasal dari pembuangan sampah domestik. Kondisi lingkungan seperti ini makroinvertebrata bentik yang mampu bertahan adalah kelompok Oligochaeta, cacing rambut (*Limnodrilus* sp) dan kelompok Diptera, yaitu *Chironomus* sp. atau larva mrutu biasa. Kedua organisme makroinvertebrata bentik ini merupakan bioindikator terjadinya pencemaran air yang buruk/kotor (Anonim, 2004). Berdasarkan perhitungan FBI dan LQI di daerah Wangisagara kriteria kualitas air termasuk sangat buruk dengan nilai rata-rata indeks sebesar 7,98 (Tabel 7) dan 1,10 (Tabel 8). Menurut perhitungan indeks diversitasnya, termasuk kriteria air tercemar berat dengan nilai indeks rata-rata sebesar 0,77 (Tabel 9).

Lokasi Koyod

Lokasi Sungai Citarum daerah Koyod berada pada ketinggian 600-an yang relatif datar. Gambaran lingkungan dan kualitas air Sungai Citarum yang lebih parah lagi dibanding dengan lokasi sebelumnya adalah di lokasi

Koyod ini. Dari pengamatan secara visual terhadap kondisi air dan lingkungan Sungai Citarum di daerah ini, warna air dan dasar sungainya hitam serta berbau khas limbah cair industri tekstil. Seperti telah diulas sebelumnya, dengan banyaknya limbah cair yang dibuang langsung ke sungai tanpa pengolahan adalah penyebab air di sungai terbesar di Jawa Barat itu berwarna hitam dan berbau tak sedap (Anonim, 2006b).

Nilai indeks kimia-fisika kualitas air Sungai Citarum ke arah hilirnya semakin menurun. Hasil perhitungan indeks kimia-fisika didapatkan nilai rata-rata 11,53 (Tabel 6). Penurunan nilai indeks tersebut sangat drastis, diprediksi sebagai akibat masuknya air limbah industri tekstil dari daerah Majalaya. Kriteria kualitas air Sungai Citarum di daerah ini adalah tercemar ekstrim. Berdasarkan hasil analisis kualitas airnya, beberapa parameter menunjukkan kualitas yang cukup jelek, seperti pH menunjukkan nilai 7,3-9,7; DO 0-0,24 mg/L; dan BOD 17,6-42,0 mg/L.

Jika dikaji dari potensi sumber pencemar yang berada di sekitar Sungai Citarum bagian hulu, maka paling tidak terdapat dua sumber, yaitu limbah domestik dan industri tekstil. Berdasarkan data perkiraan penduduk di DAS Citarum untuk wilayah Majalaya ini, secara umum disajikan menurut buku Status Mutu Air Sungai di Indonesia Volume I (2006c). Dalam buku tersebut dinyatakan bahwa, jumlah penduduk yang bermukim di DAS Citarum diperkirakan lebih dari 9,5 juta orang. Hampir 88% dari jumlah tersebut berada di DAS Citarum bagian hulu (Majalaya, Bandung, dan Cimahi). Pembuangan limbah domestik tersebut sekitar 91% dilakukan dengan pembuangan langsung dan tidak langsung ke sungai. Sisanya 5 % dibuang melalui pengolahan limbah kolektif dan 4% menggunakan septik tank. Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan, perkiraan beban limbah penduduk yang terbuang ke Sungai Citarum mencapai 196 ton BOD per harinya. Dengan demikian beban limbah organik pada

Sungai Citarum hingga daerah Majalaya sudah cukup berat.

Berdasarkan informasi dari Kepala Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) Propinsi Jawa Barat, setengah dari 635 industri besar, sedang, dan kecil di sepanjang daerah aliran Sungai Citarum membuang limbahnya langsung ke sungai tanpa pengolahan (Anonim, 2006b). Dari hasil inventarisasi industri-industri di Sub-DAS Citarum Hulu, salah satu zona industri dari enam zona yang merupakan sumber limbah industri, yaitu berasal dari daerah Majalaya (Pusair, 1992 dalam Bukit dan Yusuf, 2002).

Karakteristik limbah cair industri tekstil terdiri dari senyawa yang biodegradable (terurai oleh mikroorganisme) dan non-biodegradable (tidak terurai oleh mikroorganisme) (Sudrajat, 2002). Senyawa biodegradable dalam bentuk parameter BOD dari limbah cair industri tekstil memiliki kadar sebesar 1.000-8.000 mg/L (Hussain, 1976 dalam Kusmiat, 2001). Dengan karakteristik kadar BOD yang cukup tinggi tersebut, maka beban pencemaran terhadap badan air penerima cukup berat, seperti yang terjadi di Sungai Citarum ini.

Di lokasi pengamatan daerah Koyod, ditemukan makroinvertebrata bentik dominan yang mampu bertahan adalah kelompok Oligochaeta, cacing rambut (*Limnodrilus sp.*). Organisme air ini merupakan bioindikator terjadinya pencemaran air yang sangat buruk/kotor (Anonim, 2004). Berdasarkan perhitungan FBI dan LQI di daerah Wangisagara kriteria kualitas air termasuk buruk hingga sangat buruk dengan nilai rata-rata indeks sebesar 7,60 (Tabel 7) dan 1,80 (Tabel 8). Menurut perhitungan indeks diversitasnya, termasuk kriteria air tercemar berat dengan nilai indeks rata-rata sebesar 0,70 (Tabel 9).

Lokasi Dayeuhkolot

Kondisi yang tidak jauh berbeda dengan daerah Koyod, yaitu kualitas air Sungai

Citarum di daerah Dayeuhkolot. Antara daerah Koyod dengan Dayeuhkolot, dilihat dari topografinya relatif datar. Perbedaan ketinggian tempat keduanya sekitar 33 m. Kecepatan airnya hanya 0,12 m/det. Dengan demikian proses purifikasi alami untuk mendegradasi beban organik diduga tidak optimal. Berdasarkan hasil perhitungan kriteria kualitas airnya, Sungai Citarum daerah Dayeuhkolot termasuk ke dalam tercemar ekstrim. Dilihat dari nilai IKF-nya, Sungai Citarum di daerah ini mencapai 11,71. Nilai tersebut lebih tinggi sedikit dari nilai IKF di daerah Koyod (Tabel 6). Demikian juga dari hasil pengukuran kualitas airnya, parameter pH menunjukkan nilai 7,3-8,8; DO 0-1,02 mg/L; dan BOD 20,6-36,0 mg/L. Jika dibandingkan dengan lokasi Koyod, semua parameter sedikit lebih baik kualitasnya.

Di tinjau dari makroinvertebrata bentik dominan yang mampu bertahan adalah *Limnodrilus* sp. atau cacing rambut dan *Chironomus* sp. yang dikenal dengan cacing merah atau larva mrutu biasa. Organisme air ini merupakan bioindikator terjadinya pencemaran air yang sangat buruk/kotor (Anonim, 2004). Berdasarkan perhitungan FBI dan LQI di daerah ini kriteria kualitas airnya termasuk buruk hingga sangat buruk dengan nilai rata-rata 6,45 (Tabel 7) dan 1,60 (Tabel 8). Menurut perhitungan indeks diversitasnya, termasuk kriteria air tercemar berat dengan nilai indeks rata-rata sebesar 0,54 (Tabel 9).

Lokasi Margahayu

Air Sungai Citarum setelah lokasi pengamatan daerah Dayeuhkolot mendapatkan input air dari beberapa anak sungai. Diantaranya Sungai Cisangkuy dan Citepus. Muara Sungai Cisangkuy berada sekitar 500 m ke arah hilir dari Jembatan Jalan Raya Dayeuhkolot (lokasi Dayeuhkolot). Lebih ke arah hilir lagi terdapat input air Sungai Citepus. Kedua anak sungai tersebut merupakan badan air yang menerima limbah cair industri-industri tekstil dan domestik. Sungai Cisangkuy menerima limbah cair industri tekstil dari daerah Banjaran dan

Sungai Cisangkuy berasal dari daerah Palasari-Cisirung. Dengan kondisi tersebut, kualitas air Sungai Citarum mendapat beban pencemaran tambahan dan cukup berpotensi menyebabkan penurunan kualitas air Sungai Citarum.

Berdasarkan kriteria kualitas airnya, Sungai Citarum daerah Margahayu termasuk ke dalam tercemar ekstrim. Dilihat dari nilai IKF-nya, Sungai Citarum di daerah ini mencapai 11,25. Nilai ini lebih rendah dari nilai IKF di daerah Dayeuhkolot (Tabel 4). Demikian juga dari hasil pengukuran parameter pH menunjukkan nilai 7,6-8,7; DO 0-0,31 mg/L; dan BOD 20,2-32,0 mg/L. Jika dibandingkan dengan lokasi Dayeuhkolot, terutama parameter oksigen terlarut lebih jelek kualitasnya.

Di lokasi ini makroinvertebrata bentik dominan yang mampu bertahan adalah *Limnodrilus* sp. (cacing rambut) dan *Chironomus* sp. (cacing merah atau larva mrutu biasa). Organisme air ini merupakan bioindikator terjadinya pencemaran air yang sangat buruk/kotor (Anonim, 2004). Berdasarkan perhitungan FBI dan LQI di daerah ini kriteria kualitas airnya termasuk buruk hingga sangat buruk dengan nilai rata-rata 6,94 (Tabel 7) dan 1,90 (Tabel 8). Menurut perhitungan indeks diversitasnya, termasuk kriteria air tercemar berat dengan nilai indeks rata-rata sebesar 0,70 (Tabel 9).

Korelasi Nilai IKF terhadap FBI, LQI, ID

Untuk menentukan metode yang mampu menjelaskan kondisi kualitas air secara terintegrasi, maka dilakukan uji lebih lanjut menggunakan uji statistik korelasi berganda. Analisis ini dilakukan untuk mengukur seberapa besar kekuatan atau keeratan hubungan antara dua variabel yang diperlihatkan dengan angka koefisien korelasi. Variabel yang diuji adalah metrik biologi makroinvertebrata bentik dan variabel pembandingnya adalah indeks kimia-fisika. Kedua faktor tersebut dalam suatu ekosistem sungai mempunyai hubungan timbal balik saling pengaruh mempengaruhi.

Berdasarkan hasil uji korelasi, variabel metrik indeks FBI, LQI dan indeks diversitas terhadap nilai IKF memberikan nilai koefisien korelasi (r) dengan urutan nilai secara berturut-turut adalah -0,87; 0,97; 0,79 (Tabel 10). Pada kasus tersebut nilai koefisien korelasi tertinggi diperlihatkan oleh indeks LQI, yang berarti indeks ini mampu menjelaskan dan memperkuat data kimia-fisik kualitas air sebesar 94% dibandingkan dengan dua metrik lainnya. Dalam upaya pengembangan biomonitoring dan bioassesmen menggunakan organisme makroinvertebrata bentik di sungai, sebagai langkah awal dapat menggunakan metode indeks LQI.

Tabel 10. Korelasi Metrik Makroinvertebrata Bentik terhadap IKF

Sungai Citarum bagian hulu				
Korelasi (r)	FBI	LQI	ID	IKF
FBI	1,00			
LQI	-0,89	1,00		
ID	0,98	0,82	1,00	
IKF	-0,89	0,97	0,79	1,00

4. KESIMPULAN

Kategori jenis limbah cair yang mencemari air Sungai Citarum bagian hulu merupakan limbah organik. Sedikitnya terdapat tiga sumber limbah organik dominan yang diprediksi mencemari air Sungai Citarum bagian hulu, yaitu limbah peternakan sapi perah tradisional, limbah domestik, limbah cair industri tekstil. Kriteria kualitas air Sungai Citarum bagian hulu menurut IKF terbagi menjadi empat kategori, yaitu belum tercemar, tercemar sedang, tercemar sangat berat, dan tercemar ekstrim. Sedangkan menurut FBI kualitas air tersebut terbagi menjadi empat kategori, yaitu baik, sedang, buruk, dan sangat buruk. Berdasarkan perhitungan LQI, kualitas air Sungai Citarum terbagi menjadi lima kategori, yaitu ekselen, baik, sedang, buruk, dan sangat buruk. Kriteria kualitas air Sungai Citarum bagian hulu menurut Indeks Diversitas terbagi menjadi dua kategori, yaitu tercemar sedang dan berat. Berdasarkan hasil uji korelasi,

variabel metrik indeks FBI, LQI dan indeks diversitas terhadap nilai IKF memberikan nilai koefisien korelasi (r) dengan urutan nilai secara berturut-turut adalah -0,87; 0,97; dan 0,79. Pada kasus tersebut nilai koefisien korelasi tertinggi diperlihatkan oleh indeks LQI, yang berarti indeks ini mampu menjelaskan dan memper-kuat data kimia-fisik kualitas air sebesar 94% dibandingkan dengan dua metrik lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2001, Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Air dengan Pemodelan Kualitas Air (Sungai Citarum Hulu-Tengah), Laporan Akhir, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air-BPLHD Propinsi Jawa Barat.
- Anonim, 2002, Simalakama: Perambah Salah, Peternak Sapipun Sulit-Profil Desa Taruma Jaya, www.menlh.go.id, kunjungan 25/7/2006.
- Anonim, (2004), Panduan Pengenalan Invertebrata Kolam dan Sungai, LIPI/Wetland International-Indonesia Programme, dalam Petunjuk Teknis Biomonitoring Propinsi Jawa Barat, Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah, Propinsi Jawa Barat.
- Anonim, (2006a), Citarum, Kini Tercenar Sejak dari Mata Airnya, www.pikiran-rakyat.com/cetak06/032006/22/0213.htm. Kunjungan 3/10/2006.
- Anonim, (2006b), Industri Buang Limbah ke Citarum, *Pikiran Rakyat* Tanggal 5 Desember 2006 Halaman 9, Penerbit PT Granesia, Bandung.
- Anonim, (2006c), Status Mutu Air Sungai Di Indonesia, Volume I (S. Cisadane, S. Ciliwung, S. Citarum), Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Bandung.
- Anonim, (2006d), Penerapan Teknologi Spasial dan Sistem Informasi Geografi

- untuk Pengelolaan Kualitas Lingkungan Keairan. Laporan Akhir, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Bandung.
- APHA-AWA-WEF, 1995, Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater, (A.D. Eaton, L.S. Clesceri and A.E. Greenberg as editors), 19th edition, APHA 1015 Fifteenth Street, NW Washington, DC 20005.
- Bahri, S., (2007), Dampak Limbah Organik Terhadap Kualitas Air di Sungai Citarum Bagian Hulu, Buletin Pusair, Volume, 16 No. 46 Juli 2007, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Bandung.
- Bukit, N.T. dan I.A. Yusuf, (2002), Beban Pencemaran Limbah Industri dan Status Kualitas Air Sungai Citarum, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2).
- Huxley, A., (1992), The New RHS Dictionary of Gardening, ISBN 0-333-47494-5, MacMillan Press, London, dalam http://www.ibiblio.org/pfaf/cgi-bin/arr_html?Nasturtium_microphyllum. Kunjungan Tanggal 24 Januari 2007.
- Kusmiat, E., (2001), Uji Pendahuluan Penentuan Angka Pengenceran Berdasarkan Nilai Permanganat Sebagai Pendekatan Pengukuran Kadar BOD-5. Skripsi, Jurusan Kimia, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi.
- Mahbub, B. dan Haarcorryati, A., (1993), Aplikasi Bakteri Indikator dalam Penentuan Sumber Pencemar Air oleh Limbah Manusia dan Hewan. *Jurnal Pengairan*, 28, Th.8-KW II, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.
- Peilou, E. C., (1969), An Introduction to Mathematical Ecology, Wiley-Interscience A Division of John Wiley & Sons, New York-London-Sydney-Toronto.
- Resh, V. H. dan J.K. Jackson. (1993), Rapid Assesment Approachs to Biomonitring Using Benthic Macroinvertebrates, dalam *Freshwater Biomonitring and Benthic Macroinvertebrates*, D.M. Rosenberg and V.H. Resh, Chapman & Hall, New York-London.
- Rosenberg, D.M. and V.H. Resh, V.H., (1993), *Freshwater Biomonitring and Benthic Macroinvertebrates*, Chapman & Hall, New York-London.
- Sharma, S. dan O. Moog, (2006), The Use of Biotic Index and Score Methods in Biological Water Quality Assessment of The Nepalese Rivers, sumber: www.geocities.com/sharma_ku/6.htm, Kunjungan tanggal 21 Maret 2006.
- Sudarso, Y., (2003), Dasar-Dasar Penilaian Status Kesehatan Sungai Dengan Menggunakan Bentik Makroavertebrata, (unpublished), Pusat Penelitian Limnologi, LIPI, Cibinong, Bogor.
- Sudrajat, A., (2002), Peran Industri dan Produk Tekstil Pada Kelestarian Sumberdaya Lingkungan Perairan DAS Citarum, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2).
- Tontowi, Kuslan, A. Averesh, (1993), Penggunaan Indeks Kimia-Fisika Untuk Menilai Kualitas Air Sungai Citarum, *Prosiding Seminar Nasional ke-II Kimia dalam Industri dan Lingkungan*, Jaringan Kerjasama Kimia Analitik Indonesia, Jogjakarta.
- UNESCO/WHO/UNEP. (1992), *Water Quality Assessments-A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2nd Edition, http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/wqassess/ch10.htm. Akses internet tanggal 14 Februari 2006.
- Welch, E.B., dan Lindell, T., (1992), *Ecological Effect of Wastewater*, E & FN Spon, London-Glasgow-New York-Tokyo-Melbourne-Madras.