

Klasifikasi Tingkat Pencemaran DAS Ciliwung Berdasarkan Indeks Kimia

Oleh:

Tri Suryono, Yoyok Sudarso, Gunawan P. Yoga, Apip, Ignasius D. A. S,
A. Hamid, Supranoto, Hidayat, Iwan Ridwansyah

Pendahuluan

Sungai Ciliwung yang merupakan salah satu sungai besar di daerah Jawa Barat, sebagian besar airnya bersumber dari Gunung mas dan bermuara di pantai utara Jakarta. Sungai tersebut memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung aktivitas masyarakat dan industri disepanjang DAS Ciliwung. Besarnya aktivitas perindustrian dan domestik di daerah sekitar DAS saat menimbulkan dampak pencemaran yang serius terhadap sungai tersebut. Beban pencemar yang dominan di S. Ciliwung seperti sungai-sungai lainnya umumnya akibat tingginya konsentrasi bahan organik dan logam berat. Keberadaan bahan pencemar tersebut menyebabkan penurunan kualitas air S. Ciliwung terutama di bagian tengah dan hilir, sehingga tidak sesuai lagi dengan jenis peruntukannya (misalnya untuk pertanian, perikanan dan sebagainya.), serta hilangnya keanekaragaman hayati khususnya spesies asli/endemik sungai tersebut (Khosla et al., 1995 dan Brahmanat & Firdaus, 1997).

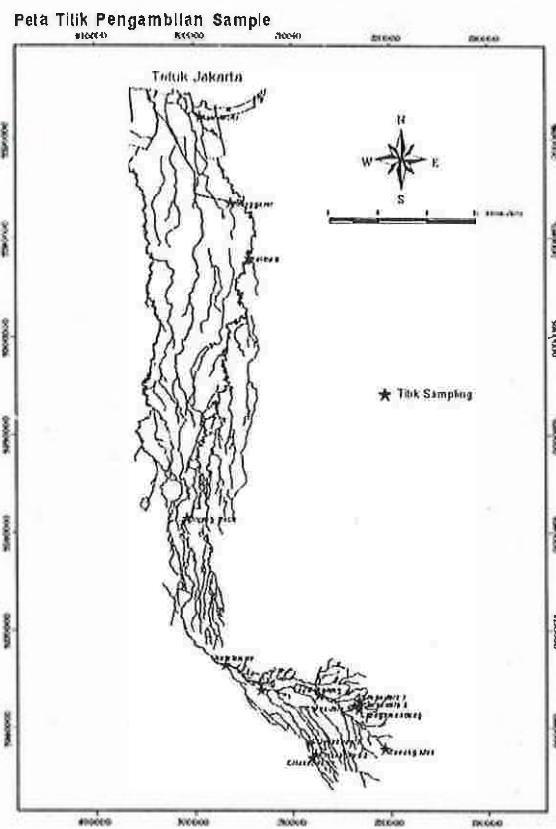
Indeks kimia dari Kirchoff (1991) telah banyak digunakan untuk mengklasifikasikan status pencemaran yang disebabkan oleh bahan organik di sungai. Indeks tersebut cukup sederhana dan mudah untuk dikerjakan, sehingga dapat dipergunakan secara kontinyu memonitor kualitas air. Akan tetapi metode indeks kimia ini mempunyai keterbatasan, khususnya dalam evaluasi variabel/parameter yang paling mempengaruhi kualitas air, serta pengelompokan status pencemaran yang terjadi di sungai tersebut. Penggabungan analisis statistik multivariate dengan metode tersebut dianggap perlu untuk dapat melihat klasifikasi status air sungai baik dari sifat fisik maupun kimia yang dominan dalam mencirikannya secara lebih sempurna, sehingga penggunaannya dalam menejemen dan pengelolaan sungai dapat lebih terarah.

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut 1) untuk mengetahui tingkat pencemaran bahan organik di sepanjang S. Ciliwung didasarkan pada indeks kimia Kirchoff, (1991). 2) untuk mengetahui tingkat perbedaan dari daerah-daerah/lokasi pengambilan sampel ditinjau dari persamaan indeks kimianya. 3) Untuk menentukan variabel-variabel yang dominan dalam mencirikan kualitas air dan keterkaitan dengan variabel lainnya pada masing-masing lokasi tempat pengambilan/sampel.

Metodologi

Penelitian ini dilakukan pada DAS Ciliwung mulai dari hulu yaitu beberapa anak sungai yang nantinya masuk ke sungai Ciliwung utama

sebagai daerah yang diharapkan masih bagus (reference), bagian tengah dimana aktifitas pencemaran yang terjadi tidak terlalu tinggi serta bagian hilir yang merupakan bagian dengan kondisi pencemaran yang sudah melewati batas toleransi. (gambar 1)



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampling pada DAS Ciliwung

No	Lokasi sampling	Stream orde	Beban pencemar Dominan
I	Cimandala 1	Satu	Alami dari pembusukan daun, ranting,
II	Cimandala 2	Satu	Alami dari pembusukan daun, ranting,
III	Cimandala 3	Dua	Alami dari pembusukan daun, ranting,
IV	Cimegamendung	Satu	Alami dari pembusukan daun, ranting,
V	Cisukabiru 1	Satu	Alami dari pembusukan daun, ranting,
VI	Cisukabiru 2	Satu	Alami dari pembusukan daun, ranting,

VII	Cisukabirus 3	Dua	Alami dari pembusukan daun, ranting,
VIII	Gunung Mas	Satu	Alami dari pembusukan daun, ranting,
IX	Ds. Leuwimalang	Tiga	Pertanian
X	Ds. Gadok	Tiga	Pertanian dan domestik
XI	Katulampa	Empat	Pertanian dan domestik
XII	Bojong Gede	Empat	Pertanian dan domestik
XIII	Kalibata	Empat	Domestik perkotaan
XIV	Manggarai	Empat	Domestik perkotaan
XV	Kali Ancol	Empat	Domestik perkotaan

Pengambilan sampel air dilakukan 3 kali yaitu pada bulan Juni, Juli dan Agustus 2002. Hal ini dilakukan pada musim kemarau untuk menghindari terjadinya pengukuran yang bias kalau dilakukan pada waktu hujan akibat banjir. Sedangkan parameter kimia air sampel yang dianalisis untuk perhitungan indeks kimia Kirchoff meliputi:

1. Kondisi oksigen jenuh yang diukur dengan menggunakan alat ukur *Water Quality Checker* (WQC merk Horiba) dan dikonversikan menggunakan grafik nomograf guna menghitung prosentase oksigen terlarut berdasarkan variasi suhu tekanan dan ketinggian (Kirchoff, 1991).
2. Konsentrasi BOD_5 diukur dengan metoda Pengenceran.
3. Konsentrasi ammonia (NH_4), diukur dengan metoda Thenate (APHA, 1995).
4. Konsentrasi Nitrat (NO_3), diukur dengan metoda Brucine (APHA, 1995).
5. Konsentrasi orto posphat ($O-PO_4$), diukur dengan metoda Ascorbic Acid (APHA, 1995).
6. Kondisi pH dan konduktivitas diukur dengan menggunakan alat ukur *Water Quality Checker* (WQC merk Horiba).

Beberapa parameter yang diukur dilapangan secara langsung/*insitu*, yaitu: pH, suhu, konduktivitas dan oksigen terlarut (DO), sedangkan parameter yang lainnya dianalisis di Laboratorium Pengendalian Pencemaran Perairan Darat, Puslitbang Limnologi- LIPI, Cibinong.

Hasil analisis parameter kimia di atas selanjutnya digunakan untuk perhitungan nilai indeks kimia yang diperoleh dari rumus indeks Kirchoff (1991) sebagai berikut:

$$CI = \sum q_i^{w_i} = q_1^{w_1} + q_2^{w_2} + q_3^{w_3} + \dots + q_n^{w_n}$$

Dimana:

- CI : Nilai Indeks Kimia dari air S. Ciliwung pada setiap titik sampling
- n : banyaknya jumlah parameter
- q : parameter sub-indeks diperoleh dari pengurangan anggota parameter diantara skala 0 sampai 100
- w : nilai bobot kepentingan dari setiap parameter, nilainya dari 0-1

Tahap berikutnya adalah menggolongkan nilai indeks yang didapatkan ke dalam kriteria sebagai berikut:

- 0 sampai 27 : digolongkan sebagai air yang sangat tercemar
- 28 sampai 56 : digolongkan sebagai air yang tercemar sedang
- 57 sampai 83 : digolongkan sebagai air yang tercemar ringan
- 84 sampai 100 : digolongkan sebagai air yang belum tercemar (sumber LAWA 1976).

Analisis Data

Analisis data dengan menggunakan uji statistik ANOVA (Uji-F) satu arah dengan selang kepercayaan 99% ($p=0,01$). Hasil uji Anova dilanjutkan dengan *post hoc comparison* dengan menggunakan uji *Duncan range test* dan selanjutnya digambarkan dalam grafik *Boxplots* dengan tingkat signifikansi (*Confidence interval*) 99%. Analisis statistik uji-F dan *post hoc comparison* dilakukan dengan menggunakan bantuan software MVSP® versi 3.

Evaluasi masalah lingkungan perairan pada umumnya membutuhkan banyak pengukuran variabel kualitas air, sehingga diperlukan analisis multivariate dalam interpretasi hasil pengukuran tersebut. *Principle Component analysis* (PCA) atau Analisis Komponen utama (AKU) merupakan teknik ordinasi yang paling umum digunakan dalam analisis multivariate/multivariabel (Norris, 1995). Adapun tujuan dari dilakukannya teknik ordinasi tersebut adalah: 1) menurunkan dimensi ruang dari data multivariate/multivariabel yang kompleks dengan meminimalkan informasi yang hilang dari data tersebut. 2). Mengekstraksi kumpulan data/variabel yang tidak saling berkorelasi dari kumpulan data/variabel yang saling berkorelasi yang disebut dengan komponen atau faktor. Variabel atau tempat lokasi sampling diplotkan ke dalam ruang multidimensi yang ditunjukkan sebagai axis/sumbu. Jarak diantara ke dua sampel yang diplotkan ke dalam ruang tersebut merupakan korespondensi diantara keduanya, yang menunjukkan tingkat ketidaksamaan/*disimilarity*. Adapun jarak yang dipergunakan dalam AKU yaitu dengan jarak *euclidean*. Sumbu/faktor yang baru terbentuk didefinisikan sebagai kombinasi linear dari pengukuran masing-masing variabel (Norris dan Georges, 1994). Van Wijngaarden et.al (1995) telah menggunakan analisis AKU tersebut untuk mengevaluasi respon komunitas terhadap pemaparan bahan polutan dan perubahan habitatnya. AKU juga dianggap cocok diterapkan di S. Ciliwung hulu untuk melihat karakter dari variabel yang mencirikan di sungai tersebut.

Data hasil pengukuran distandarisasi terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. (Bengen, 2000). Perbedaan variabel yang mencirikan kualitas air diantara perbedaan bulan pengambilan sampel dianalisis dengan menggunakan AKU. Variabel-variabel yang sebelumnya telah diketahui memiliki autokorelasi, misalnya BOD dengan oksigen terlarut (DO), nitrat dengan nitrit, dipilih salah satu, guna memudahkan dalam interpretasi. Kemiripan diantara stasiun pengambilan yang didasarkan pada

kesamaan indeks kimia dikelompokkan dengan menggunakan analisis PCA dengan menggunakan softwear MVSP versi 3.1.

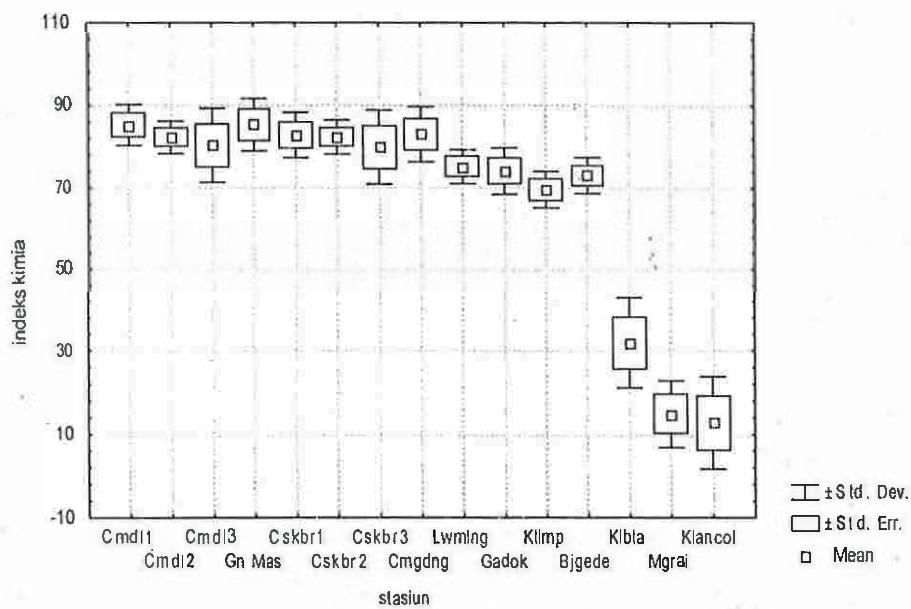
Hasil dan Pembahasan

Dari hasil analisa kimia air setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus indeks kimia Kirchoff (1991) diperoleh klasifikasi pencemaran sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil perhitungan indeks kimia Kirchoff (1991)

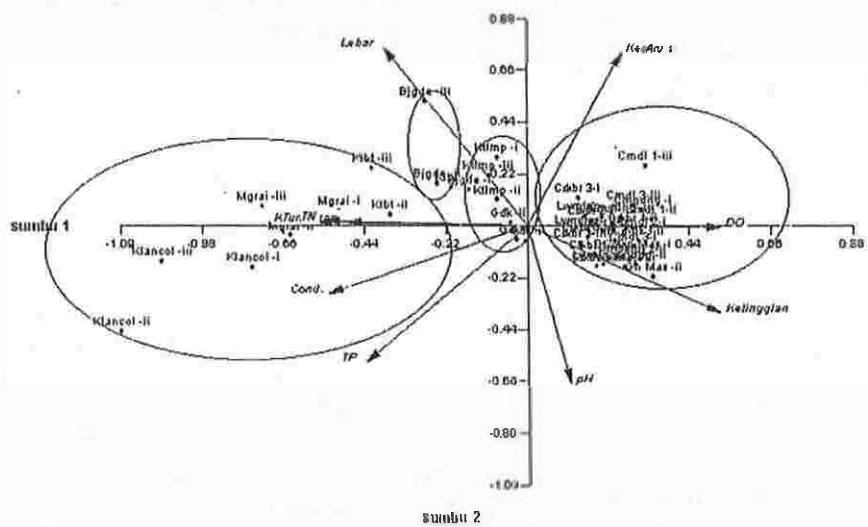
Stasiun	Nilai Indeks Rata-rata	Status
Cimandala 1	85.067	Belum tercemar
Cimandala 2	82.080	Tercemar ringan
Cimandala 3	80.180	Tercemar ringan
Gunung Mas	85.079	Belum tercemar
Cisukabirus 1	82.669	Tercemar ringan
Cisukabirus 2	82.131	Tercemar ringan
Cisukabirus 3	79.730	Tercemar ringan
Cimegamendung	82.831	Tercemar ringan
Leuwimalang	75.084	Tercemar ringan
Gadok	74.067	Tercemar ringan
Katulampa	69.584	Tercemar ringan
Bojong Gede	72.971	Tercemar ringan
Kalibata	31.975	Tercemar sedang
Manggarai	14.842	Tercemar berat
Ancol	12.733	Tercemar berat

Dari tabel diatas terlihat hampir semua stasiun pengambilan sudah mengalami pencemaran dari sedang sampai berat. Hanya dua stasiun yang termasuk belum tercemar yaitu Stasiun Cimandala 1 dan Gunung Mas. Untuk daerah hulu dimana telah mengalami pencemaran karena proses pembusukan alami dari daun-daunan, ranting dan pohon yang mati serta proses pelapukan tanah dan batuan jadi pada umumnya stasiun di daerah hulu mengalami pencemaran ringan dengan nilai indeks antara 79 sampai 82. sedangkan untuk bagian tengah (Leuwimalang sampai Bojong Gede) masih termasuk dalam kategori tercemar ringan akan tetapi kisaran nilai indeks yang diperoleh lebih rendah dari bagian hulu yaitu 69,584 sampai 75,084. untuk Kalibata termasuk tercemar sedang dan terakhir bagian hilir yaitu Manggarai dan Ancol termasuk kategori tercemar berat yaitu nilai indeks 12 sampai 14. meningkatnya status pencemaran pada bagian hilir dikarenakan di sepanjang tepian sungai berdiri banyak rumah penduduk dan industri yang kebanyakan membuang limbahnya ke badan air sehingga terakumulasi menjadi tinggi.



Gambar 2: Grafik Boxplot status pencemaran di DAS Ciliwung.

Hasil uji-F terhadap indeks kimia dari setiap stasiun pengambilan sampel di DAS Ciliwung dari hulu sampai hilir memperlihatkan adanya perbedaan yang signifikan ($p=0,01$). Dilihat dari grafik boxplot yang didasarkan pada pengelompokan standard deviasi dengan selang kepercayaan 99 % diperoleh hasil seperti gambar 2. di sini terlihat bahwa dari stasiun Cimandala 1,2 dan 3; Cisukabirus 1,2 dan 3; Cimegamendung; dan Gunung Mas, Leuwimalang, Gadok, Katulampa dan Bojonggede tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ($p>0,01$). Stasiun Kalibata posisinya berdiri sendiri yaitu berbeda nyata dengan stasiun Cimandala sampai Bojonggede dan stasiun Manggarai sampai Kali Ancol ($p<0,01$). Sedangkan dua stasiun terakhir di bagian hilir yaitu Manggarai dan Kali Ancol tidak memiliki perbedaan yang nyata ($p>0,01$). Jadi disini terlihat adanya tiga pengelompokan yang didasarkan atas perbedaan indeks kimianya pada stasiun di DAS Ciliwung dari hulu sampai hilir. Secara garis besar stasiun mulai Cimandala 1 sampai Bojonggede dikategorikan dalam belum tercemar sampai tercemar ringan sedangkan stasiun kalibata tergolong tercemar sedang dan dua stasiun di bagian hilir yaitu Manggarai sampai Kali Ancol tergolong tercemar berat. Jadi stasiun Kalibata seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa stasiun ini merupakan peralihan dari tercemar ringan ke berat karena berbeda nyata dengan semua stasiun yang lain.



Gambar 3. Korelasi antara variabel dari DAS Ciliwung pada sumbu faktorial utama dengan menggunakan analisis PCA

Analisis dengan menggunakan PCA di atas (gambar 3) dapat diketahui kekuatan dari masing-masing variabel lingkungan dalam mencirikan stasiun pengambilan sampel. Dari hasil analisis kosinus kuadratnya menunjukkan kualitas representasi titik pada sumbu utama. Dari hasil analisa tersebut dapat dilihat adanya beberapa pengelompokan yang dipengaruhi atau dicirikan oleh masing-masing variabel lingkungan dimana kelompok pertama stasiun yang berada di daerah hulu terdiri dari Cimandala 1,2 dan 3; Cisukabirus 1,2 dan 3; Cimegamendung; Gunung Mas dan Leuwimalang, sedangkan kelompok kedua adalah untuk stasiun bagian tengah sampai hilir yaitu stasiun Bojonggede, Kalibata, Manggarai dan Kali Ancol. Stasiun-stasiun ini mencirikan sumbu 1 dimana variabel lingkungan yang berpengaruh pada stasiun Cimandala 1,2 dan 3; Cisukabirus 1,2 dan 3; Cimegamendung; Gunung Mas dan Leuwimalang ini adalah oksigen terlarut yang tinggi (8 sampai 9,7 mg/l) dan faktor ketinggian tempat (700 m dpl) sedangkan konsentrasi nutrien seperti TN, TP, turbiditas dan konduktivitasnya cenderung kecil. Tingginya konsentrasi oksigen terlarut yang ditemukan di stasiun Cimandala 1,2 dan 3; Cisukabirus 1,2 dan 3; Cimegamendung; Gunung Mas dan Leuwimalang diduga akibat dari adanya jeram-jeram air yang mengakibatkan adanya kontak langsung antara air dengan udara, hal ini juga berkaitan erat dengan faktor ketinggian tempat dan kecepatan arus air, seperti pendapat yang dikemukakan Welch (1952) bahwa oksigen terlarut dalam air pada umumnya berasal dari: 1. difusi oksigen secara langsung dari udara ke dalam air melalui lapisan permukaan air, 2. melalui arus (aliran air), 3. melalui hujan, dan 4. melalui proses fotosintesis dalam air. Sumbu 2 dicirikan oleh variabel lingkungan TP, kecepatan arus dan lebar tempat dimana stasiun yang dicirikan sumbu 2 ini adalah Gadok dan Katulampa yang dicirikan dengan tingginya kecepatan arus sungai (0,6 sampai 0,87 m/dt) dan lebar sungai (13,68 sampai 33,33 m). Sedangkan stasiun konsentrasi TP pada kedua stasiun ini kecil (0,03 sampai 0,05 mg/l). untuk stasiun-stasiun yang berada di daerah tengah sampai hilir yaitu mulai Bojonggede, Kalibata, Manggarai sampai Kali Ancol dicirikan dengan ditemukannya variabel lingkungan yang tinggi seperti TN, TP, Turbiditas dan Konduktivitas, hal ini diduga akibat pengaruh dari besarnya beban pencemar yang masuk ke dalam air sungai sedangkan variabel seperti oksigen terlarut dan ketinggian sangat kecil pengaruhnya. Khusus stasiun Bojonggede ada tambahan satu variabel lagi yang sangat mencirikan yaitu lebar tepian sungai (36 m). Stasiun Kalibata, Manggarai sampai Kali Ancol memiliki konsentrasi TN dan TP tinggi yaitu berturut-turut 6,2 sampai 11,4 mg/l serta 0,2 sampai 1,3 mg/l, tingginya konsentrasi nutrien ini diduga karena adanya masukan limbah domestik maupun industri ke dalam perairan sungai seperti yang dikemukakan Mahida (1986) bahwa dalam air limbah yang sudah mengalami pembusukan kadar nitrit dapat diperoleh dalam konsentrasi yang tinggi. Sedangkan sumber utama unsur fosfor adalah dari pencemaran industri, hanyutan pupuk, limbah domestik, hancuran bahan organik dan mineral-mineral fosfat (Riadi, S. 1984). Tingginya nilai konduktivitas di stasiun ini lebih dari 0,15 mS/cm diduga juga pengaruh dari ion-ion yang masuk ke perairan sungai bersama limbah dari domestik maupun industri. Boyd (1990) menyebutkan konduktivitas merupakan ukuran dari kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik dan sangat dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi ion-ion yang ada dalam air. Konsentrasi oksigen terlarut Kalibata, Manggarai sampai Kali Ancol

umumnya rendah 2,3 – 1,1 mg/l (Kali Ancol) hal ini di duga karena proses penguraian kandungan pencemar oleh mikroorganisme yang menggunakan oksigen terlarut yang ada di perairan. Menurut Welch (1952) konsentrasi oksigen terlarut dalam air dapat berkurang karena : 1. dipergunakan oleh hewan air untuk respirasi; 2. dipakai dalam proses penguraian bahan organik secara biokimia (BOD) dan 3. dipakai dalam proses penguraian bahan organik secara kimiawi (COD).

Kesimpulan

- Dari hasil analisa di atas dapat disimpulkan bahwa :
1. Secara umum perhitungan indeks kimia dengan menggunakan metode Kirchoff (1991) mampu mendekripsi status pencemaran yang terjadi pada beberapa stasiun di sepanjang DAS Ciliwung dari hulu sampai hilir. Besarnya nilai indeks tersebut mampu memisahkan stasiun-stasiun sesuai dengan tingkatan pencemaran yang terjadi. Dari besarnya nilai indeks ini dapat dilihat kondisi daerah yang belum tercemar (Cimandala 1 dan Gunung Mas), stasiun yang tecemar ringan (Cimandala 2 sampai Bojonggede), stasiun yang tercemar sedang yaitu Kalibata dan stasiun yang tercemar berat (Manggarai dan Kali Ancol).
 2. Dari hasil analisis multivariate dengan menggunakan PCA diketahui besarnya kekuatan atau kontribusi dari variabel lingkungan kualitas air pada setiap stasiun sepanjang DAS Ciliwung dari hulu sampai hilir. Pada umumnya stasiun di bagian hulu (Cimandala 1 sampai Leuwimalang) dicirikan oleh tingginya variabel oksigen terlarut (8 – 9,7 mg/l) dan faktor ketinggian. Sedangkan pada stasiun bagian hilir (Manggarai sampai Kali Ancol) dicirikan dengan rendahnya oksigen terlarut (2,3 – 1,1 mg/l) tetapi konsentrasi tinggi pada stasiun bagian hilir ini seperti TN, konduktivitas dan turbiditas cukup tinggi.

Daftar Pustaka

- APHA, 1995. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. 19th Edition. American Public Health Association/ American Water Work Association/Water Environment Federation Washington. Dc. Usa.
- Bengen., D.G., 2000, Sinopsis Teknik Pengambilan Contoh Dan Analisis Data Biofisik Sumber Daya Pesisir, Pusat Kajian Sumber Daya Pesisir Dan Lautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, 1-89 Hal
- Boyd, C. E., 1990. Water Quality In Ponds For Aquaculture, Alabama Agricultural Experiment Station, 482 pp.
- Brahmanat S. S, Firdaus Achmad, 1997, Eutrophication In Three Reservoirs At Citarum River, Its Relation To Beneficial Uses, Proceedings Workshop On Ecosystem Approach To Lake And Reservoir Management, 199 – 211 pp

- Khosla M.R., Alan G.H., Paul L.A., 1995, Assessing Water Quality Interdisciplinary Problems And Approaches, *Interdisciplinary Science Reviews* 20 (3):229-240pp
- Kirchoff, W., 1991. Water Quality Assessment Based On Physical, Chemical And Biological Parameters For The Citarum River Basin.
- Mahida, N. U. 1981. Pencemaran air dan Pemanfaatan Limbah Industri. C.V. Rajawali Jakarta.
- Norris, R.H. And A. Georges, 1995, Analysis And Interpretation Of Benthic Macroinvertebrates Survey, In *Benthic Macroinvertebrates Survey*, 234-286pp.
- Norris, R.H., 1992, Biological Monitoring, The Dilemma Of Data Analysis, *J.North. Am Benthol. Soc* 14(3): 440-450pp
- Riadi, S. 1984. Pencemaran Air. Karya Anda. Surabaya. Indonesia
- Van Wijngaarden, R.A., P.J. Vandenbrink, J.H. Voshaar, P. Leeuwangah, 1995, Ordination Techniques For Analysing Response Of Biological Communities To Toxic Stress In Experimental Ecosystem, *Ecotoxicology*
- Welch, P. S., 1952. Limnology. Mc Graw Hill Book Co., Inc. New York.
- Wetzel, R.G., 1983, Limnology, Second Edition, Sounders Colledge Philadelphia, 860p