

V

IDENTIFIKASI PROSES TRANSFER MATERI DAN ENERGI ANTARA EKOSISTEM SUNGAI DENGAN TERRESTRIAL

Penanggung Jawab : Tuahta Tarigan
Anggota : Dede Irving Hartoto
Sulastri
Awalina
Yustiawati
M. Suhaemi Syawal
Rosidah

A. ABSTAK

Identifikasi proses transfer materi dan energi antara ekosistem sungai dan terrestrial adalah salah satu model pengelolaan perairan sungai serta daerah alirannya yang disusun berdasarkan atas pengetahuan mengenai proses transfer energi dan materi yang terjadi dalam kedua jenis ekosistem tersebut. Proses Biogeokimia merupakan bagian terpenting dari proses transfer materi dan energi, dalam hal ini yang paling krusial untuk dikaji adalah proses-proses yang berkaitan dengan siklus-siklus Karbon (C), Nitrogen (N), Fosfor (P), Belerang (S), Fe (Besi), dan Silika (Si). Laju proses transfer diukur berdasarkan laju perubahan keluar masuk energi dan materi pada masing-masing material dan energy pools dengan menghitung parameter-parameter exsitu dan insitu. Pelaksanaan kegiatan tersebut dilakukan di sungai Cikaniki Sub, DAS Cisdane Kee. Nanggung Leuwiliang Bogor yang melibatkan para peneliti dan teknisi dari berbagai disiplin ilmu di Puslit Limnologi.

Kata kunci : Proses transfer, Energi, Materi, Siklus biogeokimia, Sungai, Terrestrial

B. PENDAHULUAN

Sungai Cikaniki terletak di Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor yang mengalir ke sungai Cianten dan bermuara di sungai Cisdane. Di bagian hulu sungai Cikaniki terdapat unit penambangan emas Pongkor PT. Antam (Aneka Tambang) yang aktifitasnya melakukan ekstraksi emas dari biji emas. Selain itu ada juga penambang emas yang tidak resmi atau penambang emas tanpa izin (PETI) yang biasa disebut *gurandil*. Adanya kegiatan-kegiatan tersebut dkuatirkan akan terjadi kerusakan lingkungan seperti penurunan dan kerusakan badan sungai. Kekuatiran ini bisa berdampak langsung terhadap penduduk sekitar bantaran sungai, karena sebahagian penduduk yang mendiami wilayah ini masih menggunakan air sungai Cikaniki untuk keperluan sehari. Sungai Cikaniki ini juga mempunyai arus deras dan berbatu, kecepatan arus dari hasil pengukuran sekitar 0.5

- 0.96 m dt^{-1} sedangkan diameter batuan berkisar dari yang kecil sampai yang besar (diameter 30 cm - 3 m) dan akhir-akhir ini batu-batu dan pasir yang berada di badan sungai dijadikan sebagai mata pencaharian penduduk sekitar.

Disadari dari pengambilan batuan dan pasir ini, lambat laun keadaan fisik sungai juga akan berubah, bahkan banyak daerah telah terjadi kecendrungan penurunan kuantitas dan kualitas badan sungai bahkan sampai pada tingkat yang mengkuatirkan. Penurunan kuantitas dan kualitas ini selain disebabkan oleh berubahnya fungsi daerah tangkapan sungai (DAS) juga dari pengambilan material di badan sungai. Dengan perkataan lain, kerusakan suatu badan sungai bukan saja dari daratan (*terrestrial*) tetapi dapat juga dari berubahnya badan sungai seperti pengambilan material (seperti batuan dan pasir).

Kualitas badan air merupakan hasil dari kumpulan masalah akibat interaksi komponen penyebab pencemar dari sistem badan air tersebut (Haith, 1982). Lebih luas lagi, kualitas suatu badan air merupakan tanggapan (*response*) unjuk kerja interaksi komponen-komponen sistem DAS (Krenkel, 1980). Seperti halnya di DAS Cisadane, dengan adanya dinamika aktivitas manusia di dalam sistem DAS akan terjadi interaksi antara dua subsistem, yaitu subsistem biofisis dan subsistem sosial ekonomi. Kejadian-kejadian seperti ini terus berlanjut apabila tidak dilakukan pengelolaan sistem DAS secara optimum. Salah satunya yang telah terjadi pada saat ini ialah sungai Cikaniki (DAS Cisadane) daerah penelitian, yaitu karena kurang optimumnya sistem pengelolaan DAS Cisadane dan sungainya. Untuk memahami permasalahan-permasalahan tersebut, maka penyusunan sistem/model pengelolaan pada masing-masing jenis ekosistem tersebut sudah seharusnya bersifat holistic berdasarkan pendekatan ilmiah. Pendekatan ilmiah pengelolaan lingkungan air dan daratan erat hubungannya dengan studi pemahaman tentang struktur dan fungsi ekosistem (dalam hal ini proses transfer materi dan energi) di kedua lingkungan tersebut. Suatu model pengelolaan perairan sungai dan daerah aliran sungai yang mempengaruhinya, sudah seharusnya di dasarkan atas pengetahuan tentang proses biogeokimia yang berlangsung di dalam dan di antara ekosistem yang bersangkutan. Oleh karena itu studi mengenai siklus biogeokimia ini sangat perlu untuk dilakukan untuk memahami proses transfer energi dan materi yang terjadi dalam kedua jenis ekosistem tersebut.

Perumusan Masalah

Proses Biogeokimia adalah bagian integral dari proses transfer materi dan energi, yaitu yang paling utama adalah siklus Karbon (C), Nitrogen (N), Fosfor (P), Belerang (S),

Fe (besi) dan Silika (Si). Selama ini referensi untuk model pengelolaan DAS dan zona badan sungai yang dipengaruhinya berasal dari pengalaman empiris Negara-negara empat musim (Eropa dan USA), hal ini karena penelitian tentang komponen-komponen pelaksana dan laju fungsi transfer melalui siklus-siklus tersebut di daerah tropis khususnya masih sangat minim. Padahal data-data tersebut sangat perlu untuk menunjang sistem pengelolaan DAS dan zona badan sungai yang dipengaruhinya untuk Indonesia yang beriklim tropis, agar dapat bekerja dengan optimum.

1. Tujuan

1. Teridentifikasinya komponen-komponen ekosistem yang melaksanakan proses transfer energi dan materi antara ekosistem sungai dengan daratan.
2. Teridentifikasinya mekanisme laju proses transfer energi dan materi antara ekosistem sungai dengan daratan.
3. Meramu pengetahuan tentang struktur dan mekanisme proses transfer energi dan materi sebagai masukan utama penyusunan konsep dan model pengelolaan perairan sungai dengan DAS.

2. Sasaran

Memberikan hasil berupa pengetahuan mengenai struktur dan mekanisme proses transfer energi dan materi yang penting sebagai masukan utama dalam penyusunan konsep dan model pengelolaan perairan sungai dan DAS, sehingga tujuan dari pengelolaan daerah-daerah tersebut dapat tercapai secara optimal.

Kerangka analitik

Sumber energi utama bagi berjalannya fungsi-fungsi ekosistem adalah matahari, sedangkan sumber materi utama adalah hasil pelapukan batuan di permukaan bola bumi serta sejumlah kecil yang berasal dari atmosfer. Selain yang diubah langsung menjadi biomassa dan panas di perairan, energi matahari banyak terserap menjadi biomassa di daratan (vegetasi di hutan, kebun dan system terrestrial lainnya) dan selanjutnya sebagian diubah pindah ke perairan sungai dan akhirnya ke laut. Proses Biogeokimia yang penting diperhatikan adalah proses-proses yang berkaitan dengan siklus-siklus Karbon (C), Nitrogen (N), Fosfor (P), belerang (S), besi (Fe), dan Silika (Si). Struktur adalah distribusi nutrient dalam kolom air dan pola zooplankton dan fitoplankton yang dihubungkan oleh

latarbelakang kimiawi. Komponen-komponen utama penyusun struktur dalam ekosistem akuatik menurut Odum (1971)

2.a. Komponen abiotik

- a. Senyawa anorganik yang tercakup dalam siklus materi
- b. Nutrient dan unsur renik (logam-logam berat)
- c. Komponen-komponen organik (karbohidrat terlarut, protein, senyawa hambat, pigmen, asam-asam amino yang diekskresi oleh zooplankton, zat organik terlarut (DOM), enzim fosfatase bebas, dll)
- d. Tipe iklim (berkaitan dengan fotosintesis)

2.b. Komponen Biotik

- a. Produser : fitoplankton autotrofik dan macrophytes yang memproduksi biomassa dari senyawa anorganik sederhana
- b. Makrokonsumer : zooplankton dan ikan memakan detritus
- c. Mikrokonsumer : organisme heterotrofik terutama bakteri dan fungi yang bertanggungjawab dalam degradasi senyawa organik terlarut maupun partikulat.

Kita tidak hanya tertarik oleh jumlah kandungan fosfat anorganik tapi juga laju *turn over* nya. Laju sangat penting untuk diketahui untuk memahami dinamika ekosistem.

Fungsi ekosistem:

1. Sirkuit energi (semua proses kehidupan disertai oleh transfer energi)
2. Siklus nutrient (siklus biogeokimia dari major nutrients)
3. Rantai makanan (*grazing food chain dan detritus food chain*)
4. Kontrol (metabolisme regulasi)

Ekosistem adalah satuan fungsional dasar dalam ekologi, dan melingkupi baik lingkungan biotik maupun abiotik dan keduanya mempunyai sifat saling mempengaruhi.

Perbedaan dasar ekosistem akuatik dan terrestrial (darat) adalah pada dasarnya memiliki struktur dan fungsi yang sama tapi, terdapat perbedaan mencolok yaitu: produser dalam hydrosfer sebagian besar adalah fitoplankton dan alga sel tunggal. Siklus hidup mereka dan *turn over timenya* (rasio biomassa terhadap produksi) hanya terhitung dalam hari. Produser dalam lithosfer terutama adalah tumbuhan tingkat tinggi dengan biomassa besar dan *turn over time* yang lama bahkan di hutan dapat mencapai ratusan tahun. Rasio biomassa dalam lithosfer dan hydrosfer adalah 700:1, sementara rasio produksi hanya 2,5:1. Ini berarti produktifitas spesifik ekosistem akuatik lebih tinggi dibandingkan dengan ekosistem darat. (Jorgensen & Vollenweider, 1988, Wetzel, 2000).

3. Hipotesis

Ada perbedaan karakteristik komponen-komponen pelaksana dan laju fungsi perpindahan melalui siklus Karbon (C), Nitrogen (N), Fosfor (P), belerang (S), besi (Fe), dan Silika (Si) pada jenis ekosistem sungai, terrestrial dan pesisir di daerah tropik dan daerah empat musim.

C. METODOLOGI

Dalam penelitian ini akan diidentifikasi struktur dan ukuran komponen-komponen biotik (flora, fauna, mikroba) dan abiotik (metals dan nutrient pools) yang ada di ekoton antara ekosistem sungai dan daratan, seperti tipe-tipe habitat sempadan sungai, permukaan sungai, dan sediment dasar sungai.

Lokasi penelitian di sungai Cikaniki Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor yang bermuara di daerah aliran sungai Cisadane. Pengumpulan data dilakukan secara sekunder maupun primer, data-data primer yang dilakukan dilapangan diantaranya pengukuran debit sungai dan parameter fisik, kimia dan biologi (ekoton antara ekosistem daratan dengan sungai).

Laju proses transfer diukur berdasarkan laju perubahan masuk dan keluarnya energi dan materi pada masing-masing material and energi pools, dengan cara menghitung parameter-parameter secara ex-situ dan in-situ, seperti laju fotosintesis, dekomposisi, efisiensi pemakaian energi, *turn over rate nutrient* dengan unsur lainnya.

Metoda penelitian adalah terdiri dari submodel matematik dari unjuk kerja badan air dalam menerima beban, pengembangan model tersebut berdasarkan pada prinsip neraca massa sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_{ps}}{\partial t} = \frac{1}{A_s} \cdot \frac{\partial}{\partial x_s} \left(E_s \cdot A_s \cdot \frac{\partial C_{ps}}{\partial} \right) - \frac{1}{A_s} \cdot \frac{\partial}{\partial} (Q_s C_{ps}) + P_s$$

Model yang akan dikembangkan berdasarkan pada prinsip neraca massa. Aplikasi pada sistem kualitas air sungai adalah sebagai berikut,

$$\Delta V_s \frac{\partial C}{\partial t} = J_{in} A_s - J_{out} A_s \pm P R$$

$\square V_s =$ Volume elemen (ruas sungai), $m^3 = A_s \cdot \square x$

- Δx = panjang ruas sungai, m
- A_s = luas penampang melintang sungai $m^2 = Q_s/U_s$
- J_{in} = flux massa masuk ke dalam elemen karena transportasi (m^3/det)
- J_{out} = flux massa keluar dari elemen karena transportasi (m^3/det)
- PR = produksi material yang diteliti karena proses reaksi, pengalih-ragaman, pelepasan dari sedimen, mengendap, pembusukan biologis dan pertumbuhan biologis.

Adapun hubungan transformasi dengan bahan terlarut di badan sungai, model berdasarkan persamaan konsentrasi terlarut oleh adveksi dan dispersi yang persamaannya dikemukakan oleh (Bencala dan Walters 1983) sebagai berikut:

$$\frac{dC}{dt} = \underbrace{-u \frac{dC}{dx}}_{\text{Adveksi}} + \underbrace{D \frac{d^2 C}{dx^2}}_{\text{Dispersi}}$$

Keterangan : C adalah konsentrasi terlarut, t waktu, x jarak dan u kecepatan sungai (= Q/A adalah debit / luas penampang sungai) dan D adalah koefisien dispersi.

Bila pada aliran tersebut terdapat anak-anak sungai (*tributary*), daerah cadangan air (*stroge zone*) dan variable saluran morfometri, maka untuk konsentrasi larutan pada daerah cadangan tersebut persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{Q}{A} \frac{dC}{dx} + \frac{1}{A} \frac{d}{dx} \left[AD \frac{dC}{dx} \right] + \frac{Q_l}{A} (C_l - C) + \alpha (C_s - C)$$

Lateral flux
Transient stroge

$$\frac{dC_s}{dt} = -\alpha \frac{A}{A_s} (C_s - C)$$

Dimana Q_l adalah *lateral inflow* per satuan panjang sungai, C_l adalah konsentrasi larutan sebelumnya, C_s adalah konsentrasi larutan pada daerah cadangan dan A_s adalah luas penampang daerah cadangan dan α adalah koefisiennya.

Dari persamaan-persamaan seperti tersebut, untuk penelitian selanjutnya akan disimulasikan perubahan konsentrasi bahan terlarut (solute), yang perubahannya disimulasikan terhadap perubahan debit sungai. Atau dengan perkataan lain, seberapa besar energi untuk mentrasfer perubahan suatu konsentrasi di badan sungai yang disimulasikan terhadap perubahan daratan dengan badan sungai.

E. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Sungai Cikaniki mempunyai lebar sekitar 30 m yang bermuara di Sungai Cisadane terletak di Kec. Nanggung (Gambar 1), pada posisi GPS S: 06° 34' 18.5" E: 106° 32' 50.0". Sebahagian besar penduduk disekitar sungai masih menggunakan air sungai sebagai MCK, sedangkan air minum menggunakan air sumur. Di Bagian hulu Sungai Cikaniki terdapat Unit Penambangan Emas Pongkor PT. ANTAM (ANTAM UPEP) yang pengolahan biji emas menggunakan bahan sianida atau yang biasa disebut proses sianidasi. Di sungai Cikaniki ini juga banyak dijumpai proses pengolahan biji emas (tidak resmi) dengan menggunakan alat *gelundungan tabung besi* (energi gerak air sungai), yang prosesnya menggunakan merkuri (Hg).

Tabel 1. Gambaran umum daerah penelitian, Kecamatan Nanggung

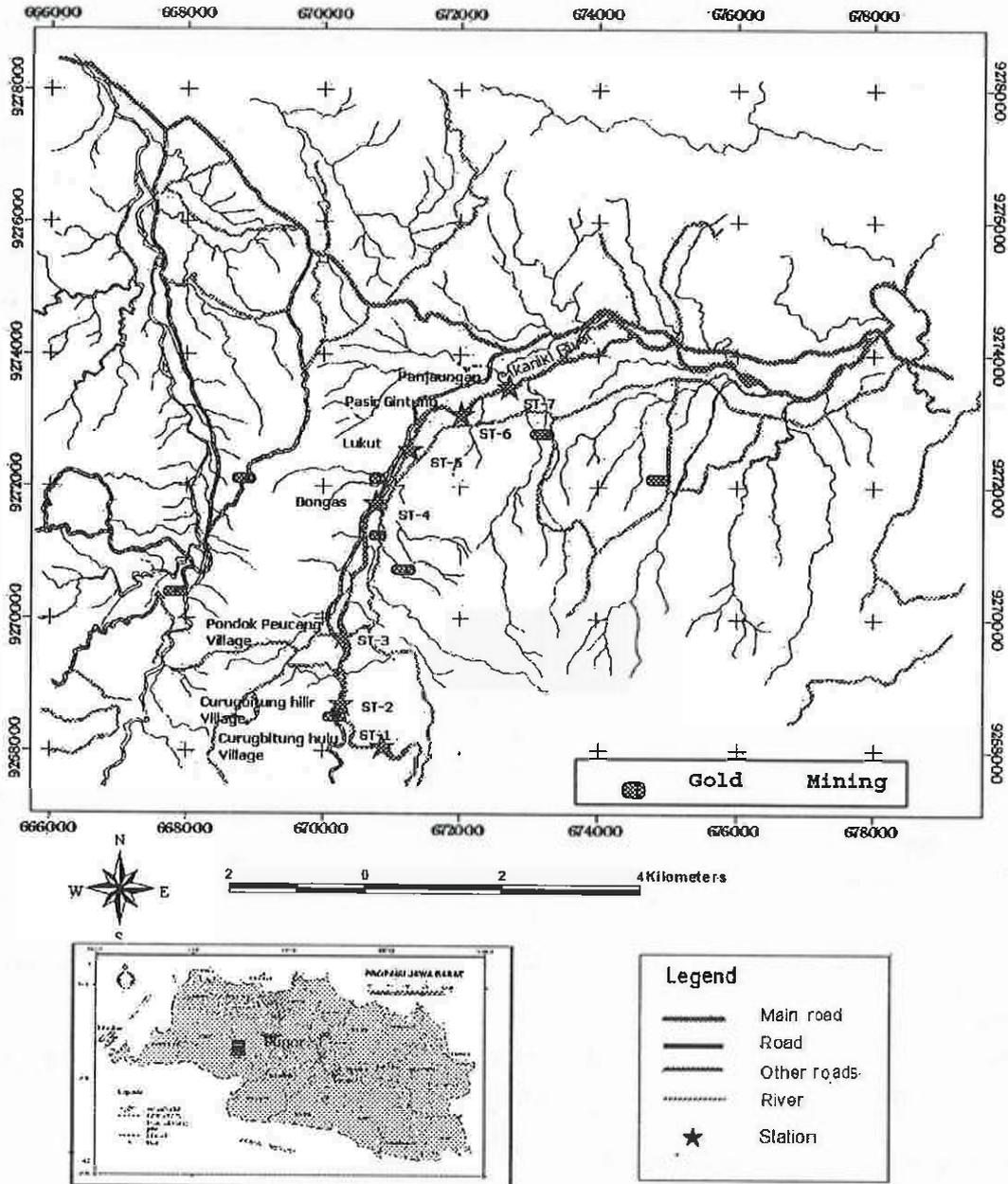
Curah hujan rata-rata	3200 – 4229 mm/thn
Suhu udara rata-rata	24.8 – 25.9 °C/thn
Kelembaban rata-rata	80.8–89.2 %
Ketinggian	450 Dpl
Kemiringan	40 – 60 %
Topografi	Daerah perbukitan sedang sampai terjal ➤ 15 % datar - bergelombang ➤ 60 % daerah berbukit ➤ 25 % daerah berbukit - bergunung
Jumlah penduduk	54.390 orang (Tahun 1999)
Kepadatan	824 orang/km ²
Luas wilayah	15.160 Ha
Kampung	224 Ha
Sawah	2.372
Tegalan	5.0Ha
Perkebunan	4.218 Ha
Hutan	Lebat 6.589 Ha; belukar 827 Ha; sejenis 600 Ha
Sumber mata air	Cikalong, Cimanganten dan Cikaret
Situ	3 buah, luas total 6.89 Ha

Sumber Laporan Andal PT. Antam Tahun 1991, dalam (Syawal, 2000)

2. Iklim

Parameter iklim yang menstransfer energi dalam penelitian ini adalah, lamanya penyinaran matahari (*Photo-period*), intensitas penyinaran matahari suhu udara, kecepatan angin, kelembaban udara dan evaporasi. Diskripsi parameter iklim tersebut diperoleh dari data sekunder pemantauan iklim dari stasiun terdekat dari badan air yang diteliti. Dalam laporan ini sebagian data parameter iklim telah diperoleh, dan sedang diaransemen dan dianalisis.

Site Sampling at Cikaniki River

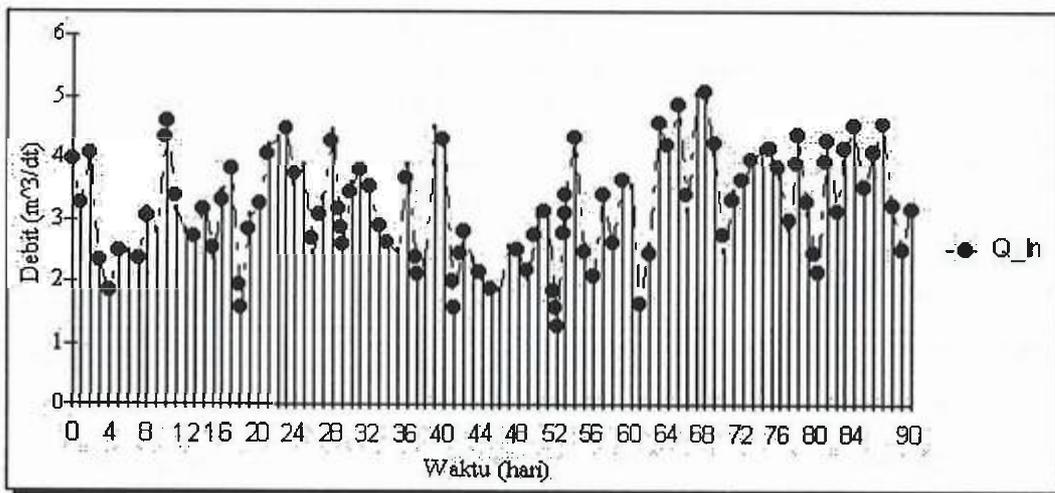


Gambar 1. Lokasi daerah penelitian dan lokasi keberadaan pengolahan bijih emas di sekitar S. Cikaniki (Syawal, 2000)

3. Hidrologi

Data debit sungai, hasil pengukuran dari tiga kali pengukuran pada bulan Juni, Agustus dan November 2003 dilakukan setiap penelitian selama empat hari. Sedangkan data debit selama sebulan adalah data perkiraan dari tinggi muka air yang terukur dilapangan serta informasi penduduk. Informasi lebih lanjut adalah pada saat penelitian dilakukan pada saat kemarau panjang (mulai hujan pada bulan Desember), data debit hasil pendekatan tersebut seperti dibawah ini dan secara grafik disajikan pada Gambar 1.

GRAPH(TIME,0,1,[3.95,3.24,4.05,2.32,1.85,2.45,2.45,2.35,3.14,2.78,4.58,3.14,2.78,2.68,3.24,2.38,3.45,3.86,1.58,3.05,3.24,4.2,4.3,4.5,3.58,3.87,2.45,3.34,4.42,2.58,3.56,3.78,3.45,2.89,2.58,2.48,3.88,2.1,2.3,4.5,4.2,1.58,2.78,2.35,2.04,1.84,1.88,2.56,2.45,2.03,3.05,3.16,1.28,3.4,4.3,2.46,2.08,3.4,2.62,3.64,3.53,1.64,2.58,4.54,4.14,4.84,3.14,5.04,5.08,4.08,2.48,3.46,3.65,4.02,4.14,4.15,3.68,2.84,4.35,3.08,2.14,4.25,3.12,4.14,4.48,3.5,4.08,4.52,3.2,2.48,3.14,3.45,3.64";0;Max:1"]).



Gambar 2. Debit Sungai Cikaniki Pengukuran (Juni, Agustus dan November, 2003)

Dari (Tabel 2) menunjukkan bahwa, kecenderungan peningkatan kandungan COD dan BOD₅ dari stasiun 1 ke stasiun 2 diduga adanya masukan yang berasal dari anak sungai yang membawa limbah penduduk. Mulai stasiun 3, dimana antara stasiun 2 – stasiun 5 terdapat masukan (influent) anak sungai yang relatif baik dan ini ditunjukkan adanya peningkatan debit sungai.

Tabel 2. Data Rerata Hasil Analisis Fisika dan Kimia Air Sungai Cikaniki

Parameter	Satuan	Stasiun Pengambilan Contoh Air				
		ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-5
Suhu	$^{\circ}\text{C}$	28.42	29.12	28.26	28.42	28.25
Cond	$\mu\text{S cm}^{-1}$	84.22	78.24	82.12	84.20	86.
pH		7.43	7.16	7.28	8.15	7.24
DO	mg L^{-1}	6.28	6.62	7.64	6.58	7.24
BOD	mg L^{-1}	10.58	12.25	10.24	9.86	9.16
COD	mg L^{-1}	18.48	21.42	18.84	16.43	15.64
Debit	$\text{m}^3 \text{ dt}^{-1}$	4.14	4.42	4.64	4.52	5.14
Fe	mg L^{-1}	0.436	0.256	0	0	0
Mn	mg L^{-1}	0.008	0.039	0	0	0
Cu	mg L^{-1}	0.0004	0	0	0	0
Pb	mg L^{-1}	0.011	0	0	0	0
Cd	mg L^{-1}	0	0	0	0	0
TN	mg L^{-1}	0.453	1.684	1.42	0	0
TP	mg L^{-1}	0.029	0.057	0.035	0	0
N-NO ₃	mg L^{-1}	0.25	0.76	0.82	0	0
N-NO ₂	mg L^{-1}	0.012	0.228	0.228	0	0
N-NH ₄	mg L^{-1}	0.044	0.076	0.076	0	0
TOC	mg L^{-1}	1.33	2.748	0.825	0	0
DOC	mg L^{-1}	0.747	0.737	0.06	0	0
Debit	$\text{m}^3 \text{ dt}^{-1}$	3.24	3.40	3.42	5.52	5.46

Penyusutan COD dan BOD₅ setelah stasiun 4 hingga stasiun 5 diduga karena peran energi badan sungai, energi tersebut diperoleh seperti fisik sungai (berbatu) atau proses biologi lainnya. Keadaan ini untuk parameter lainnya seperti DOC dan TOC maupun untuk Fe, tetapi untuk N-NO₃, N-NH₄ dan N-NO₂ keadaannya berbeda yaitu mulai stasiun 3 dan stasiun 5 meningkat. Keadaan ini diduga karena terjadinya proses pembusukan dari sersah. Oleh karena itu penelitian ini akan dilanjutkan, untuk meneliti seberapa besar dari sersah (daun-daun) dapat menstrasfer energinya.

4. Rencana Selanjutnya

Penelitian ini akan dilanjutkan untuk pengambilan data-data kualitas air (biologi, fisika dan kimia). Data biologi, seperti tanaman revarian dan biomas dari serasah serta ferifiton. Dari data-data tersebut akan diukur seberapa besar parameter tersebut mentransfer energi terhadap badan sungai penerima.

F. DAFTARPUSTAKA

- Buffle, J. and de Vitre, R.R. 1993. Chemical and Biological regulations of Aquatic system. Lewis publisher. 385 p.
- Cole, G.A. 1975. Textbook of Limnology. The CV Mosby company. 283 p
- Guidelines of Lake Management Vol.1. principles of Lake management. S.E. Jørgensen and R.A. Vollenweider. 1989. ILEC-UNEP
- Jørgensen, S.E. and R.A. Vollenweider, "Guidelines of Lake Management" *Principles of Lake Management*, Vol. 1, 1989, International Lake Environment Committee Foundation, Shiga, Japan, 2-23.
- Haith, D.A., "Environmental System Optimization", John Wiley & Sons, New York, 1982.
- Hutchinson, G.E. 1962. A treatise on Limnology. Vol.1. Geography, Physics, and Chemistry. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1015 pp
- Krenkel, P.A. and V. Novotny, "Water Quality Management", Academic Press, London, 1980.
- Syawal, M. S., 2000. Pengamatan Kualitaas Air Sungai Cikaniki Sub. DAS Cisadane-Leuwiliang Bogor. Skripsi Jurusan Kimia Universitas Pakuan Bogor 93 p.
- Wetzel, R.G. 2001. Limnology of Lake and River Ecosystem. Third edition. Academic Press.

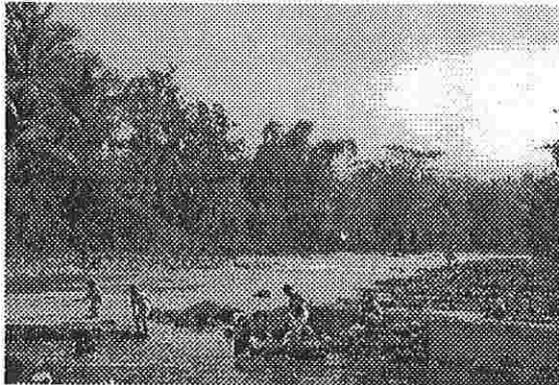
Lampiran :



Gambar 1. Alat gelundungan yang digunakan untuk pengolahan bijih emas (lokasi St.2)



Gambar 2. Lokasi penelitian stasiun 3



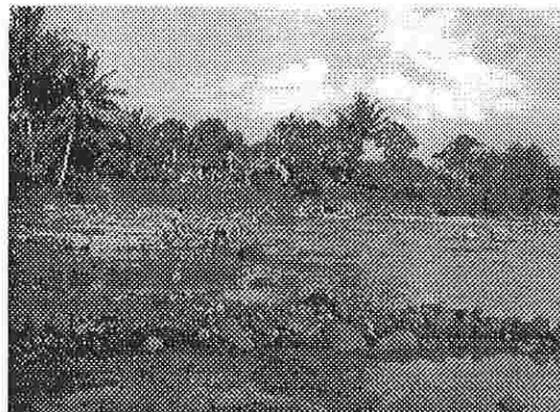
Gambar 3. Keberadaan sungai masih sangat dibutuhkan bagi masyarakat sekitar guna MCK



Gambar 4. Salah satu tipe arus S. Cikaniki pada stasiun 4.



Gambar 5. Pembuatan parit-parit guna menggerakkan gelundungan



Gambar 6. Salah satu lokasi tempat pengambilan pasir dan batu-batu pada stasiun 5.