

III

Pendugaan Status Kesehatan Beberapa Ruas Anak Sungai Cisadane Dengan Menggunakan Pendekatan Model Multimetrik

Penanggung Jawab : Yoyok Sudarso
Anggota : Tri Suryono
Gunawan P. Yoga

A.ABSTRAK

Trend penggunaan materi biologi dalam mendeteksi tingkat gangguan pada ekosistem sungai dalam beberapa dekade tahun terakhir ini mengalami perkembangan yang sangat pesat. Ditandai dengan mulai dikembangkan indeks integritas biologi (IBI) di Negara Amerika Serikat dan model prediksi lainnya yang didasarkan pada pendekatan multimetrik dari beberapa hewan indikator seperti ikan, makrozoobentos, dan perifiton. Sebagai pilot project dalam pengembangan indikator biologi perairan guna mendeteksi tingkat gangguan ekologi yang terjadi pada sungai, maka disusunlah suatu model prediksi yang didasarkan pada pendekatan multimetrik seperti pada IBI. Secara umum tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah 1) Dapat menetapkan sungai yang dapat dijadikan reference site sebagai kontrol bagi sungai lainnya yang telah mengalami gangguan, sehingga besarnya penyimpangan atau kerusakan yang terjadi pada sungai dapat diketahui dan ditetapkan. 2) Dapat membuat klasifikasi tingkat kerusakan atau gangguan pada beberapa ruas/ segmen sungai di DAS Cisadane yang didasarkan pada komunitas makrozoobentos. 3) Membangun sebuah kriteria biologi yang didasarkan pada konsep multimetrik dengan memanfaatkan komunitas makrozoobentos sebagai indikatornya. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2003 di ruas anak sungai Cisadane dengan 7 lokasi sampling site-nya yaitu Kramat Payung, Cikudapaeh, Citalahab, Cikaniki hulu, Cisarua, Putat Nutug, dan Pakulonan. Dari penelitian ini menunjukkan daerah Kramat Payung, Cikudapaeh, Citalahab, Cikaniki hulu dapat dijadikan reference site untuk daerah yang bergradien tinggi yang didasarkan pada minimnya gangguan pada habitat, polusi organik, maupun pada komunitas makrozoobentos. Ketiga stasiun lainnya telah mengalami gangguan ekologis dari sedang hingga berat. Dari penelitian ini juga dihasilkan indeks kumulatif biotik sebagai hasil dari pendekatan multimetrik pada penggabungan beberapa komponen atribut biologi/ metrik. Hasil sementara dari indeks kumulatif biotik ini diperoleh kriteria sebagai berikut: nilai indeks dari 17 – 25 dikategorikan daerah dengan belum/ minim gangguan, nilai 16-11 dalam kategori gangguan sedang, dan nilai 10 – 5 dikategorikan mengalami gangguan berat. Penerapan indeks kumulatif biotik ini untuk sungai yang lainnya mungkin membutuhkan beberapa validasi dan koreksi sehingga indeks ini dapat digunakan pada skala DAS yang lebih luas.

Kata kunci: Multimetrik, indeks kumulatif biotik, makrozoobentos, Cisadane.

B. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu *bioassessment* untuk menilai status kesehatan sebuah sungai, akhir-akhir ini telah mengalami perkembangan yang sangat pesat dan merupakan trend dalam 10 tahun terakhir. Istilah sehat pada sungai memang sering digunakan dalam kegiatan sehari-hari, akan tetapi sulit untuk didefinisikan secara pasti. Sebagian besar orang masih mengkategorikan sungai yang sehat dengan diidentikkan dengan kondisi yang masih alami, walaupun sekarang ini sulit untuk mengetahui dan menemukan *site* yang masih dalam kondisi alami karena lingkungan yang berubah sedemikian cepat oleh aktivitas manusia (Chessman 2003). Lebih dari 20 tahun yang lampau, para ahli biologi di Eropah telah menekankan klasifikasi sungai yang belum terpolusi sebagai *reference site* guna sebagai dasar penilaian degradasi habitat atau polusi (Wright 1995). Di sisi lain penggunaan kriteria kimia untuk mendefinisikan kualitas air dan mencegah hilangnya spesies akuatik ternyata belum cukup efektif dalam memberikan perlindungan dan mengembalikan kerusakan ekosistem sungai (Fore, Karr, dan Conquest 1993). Oleh sebab itu di negara-negara maju dalam menilai tingkat kesehatan sebuah sungai, juga telah mengintegrasikan penggunaan materi biologi guna mendeteksi perubahan yang terjadi pada ekosistem sungai oleh aktivitas anthropogenik. Penggunaan materi biologi ini penting karena pengaruh kerusakan lingkungan perairan oleh polusi biasanya akan berdampak negatif bagi biota sungai sebagai titik akhirnya (Norris dan Thoms 1999). Materi biologi tersebut antara lain: ikan, makrozoobentos/ *bentos*, dan perifiton yang telah secara luas dan terbukti sensitif dalam mendeteksi perubahan yang terjadi akibat stress yang disebabkan oleh perubahan lingkungan fisik dan kimia.

Salah satu materi biologi yang paling sering digunakan dalam menilai tingkat gangguan/ stress pada ekosistem perairan adalah komunitas makrozoobentos (Lenat dan Barbour 1994). Definisi umum dari organisme tersebut adalah hewan yang tanpa ruas tulang belakang dan hidup di dasar perairan, yang ukuran dari hewan tersebut biasanya tertahan pada saringan yang berpori 0,5 mm (standar USA no 30). Organisme tersebut mungkin berupa insekta air, siput (moluska), cacing, udang dan sebagainya. Keberadaan fauna tersebut sangat penting artinya bagi ekosistem akuatik karena berfungsi sebagai sumber

pakan alami bagi ikan maupun predator lainnya dan juga berperan dalam merombak material organik (Chessman, 2003). Dari segi siklus rantai makanan hewan tersebut biasanya menduduki sebagai produktivitas sekunder. Sejarah mencatat mulai tahun 1909 makrozoobentos pertama kali digunakan untuk mendeteksi polusi organik pada sungai yang dikenal dengan "*saprobien system*" (Kolkwitz dan Marsson 1909). Komunitas hewan tersebut juga mampu merefleksikan besarnya gangguan pada ekosistem perairan yang disebabkan oleh polusi bahan organik, logam berat, maupun pestisida (Reynoldson dan Metcalfe-Smith 1992).

Negara Amerika baru-baru ini telah mengembangkan sebuah konsep model integritas biologi yang didasarkan pada pendekatan multimetrik dari hewan makrozoobentos guna memperkirakan status polusi dan gangguan yang terjadi pada sumberdaya air. Konsep integritas biologi sendiri didefinisikan oleh Frey, (1975) dalam Angermeier dan Karr (1995) sebagai kemampuan untuk mendukung dan memelihara sebuah keseimbangan, penggabungan, komunitas yang adaptif dari organisme yang terdiri dari komposisi spesies, diversitas, dan organisasi fungsional yang dapat dibandingkan dengan habitat alami dari suatu region yang sama. Disisi lain Angermeier dan Karr (1995) sendiri mendefinisikan integritas biologi sebagai kemampuan sebuah sistem untuk menghasilkan dan memelihara elemen biotik yang adaptif melalui proses evolusi yang terjadi secara alami. Model prediksi lainnya yang juga dikembangkan oleh negara Inggris, Australia, dan Canada cenderung banyak mengeksplorasi analisis multivariat dalam proses penyusunannya, sehingga lebih dikenal sebagai model multivariat. Model yang dikembangkan oleh Inggris dengan nama *River Invertebrate Prediction And Classification System* (RIVPACS), Australia: *Australian River Assessment scheme* (AusRivAS) dan Canada: *Benthic Assessment of Sediment* (BeAst). Model prediksi tersebut diatas secara umum mempunyai kesamaan prinsip dasar yaitu dalam hal membandingkan antara organisme yang ada pada daerah *reference site* sebagai kontrol dengan daerah yang akan diuji sebagai *test site*. Definisi *Reference site* sendiri oleh Hughes, 1995 sebagai tempat/ lokasi dengan minimalnya gangguan dari aktivitas manusia yang dapat mewakili dari tipe badan air. Adapun perbedaan diantara kedua model tersebut diatas terletak

dalam proses penyusunannya yang secara lebih rinci dijelaskan oleh Reynoldson *et al.* (1997).

Di negara-negara yang sedang berkembang seperti Indonesia, penggunaan hewan makrozoobentos guna mendeteksi besarnya gangguan pada ekosistem sungai belum secara optimal dikembangkan dan digunakan secara rutin dalam pemantauan kualitas air. Penggunaan *bioassessment* dengan makrozoobentos selama ini di Indonesia masih terbatas dan bersifat parsial/ belum terintegrasi seperti pada pendekatan model multimetrik. Biasanya penerapan atribut biologi atau indeks selama ini masih banyak mengadopsi dari negara *temperate* seperti *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), *Average Score Per Taxon* (ASPT), *Family Biotic Index* (FBI) dan sebagainya yang kadangkala perlu dilakukan kalibrasi dan belum tentu cocok untuk diterapkan pada daerah tropis seperti Indonesia. Dari segi iklim yang tropis keberadaan makrozoobentos di Indonesia sangat memungkinkan mempunyai diversitas yang jauh lebih tinggi daripada negara subtropis lainnya. Relatif tingginya biodiversitas makrozoobentos di Indonesia merupakan suatu peluang dan tantangan guna mengembangkan suatu model prediksi yang dapat disesuaikan dengan kondisi lokal/ geografis setempat. Kurangnya informasi mengenai *bioassessment* seperti model tersebut diatas menyebabkan negara Indonesia masih tertinggal dalam pengembangan ilmu tersebut.

Guna dapat menyusun sebuah model multimetrik seperti yang diharapkan diatas, maka perlu dilakukan penelitian pendahuluan guna mengumpulkan informasi dasar tentang diversitas dan ekologi dari hewan tersebut. Sebagai proyek percontohan dari dibangunnya sebuah model tersebut diatas, maka Sungai Cisadane merupakan contoh lokasi yang baik karena kondisi sungai tersebut pada bagian hulunya masih terjaga dengan baik yang cocok digunakan sebagai daerah *reference site* dan nilai kepentingan dari sungai tersebut merupakan bahan baku sumber air minum oleh PDAM Tirta Kerta Raharja di Tangerang. Sungai Cisadane merupakan salah satu sungai terbesar di daerah Jawa Barat yang mengalir hingga melalui wilayah *greater* Jakarta. Pada bagian hulu sungai tersebut sebagian besar berasal dari daerah sekitar Taman Nasional Gunung Halimun (1400 dpl). Sepanjang hulu dari sungai Cisadane banyak bermuara

sungai-sungai kecil seperti Cianten, Cigombong, Cinagara, Cibadak, Cimande, Cihideung, Cikereteg, Ciapus, Ciaruteun, Cikaniki dan lain-lain. Pada beberapa ruas anak sungai DAS Cisadane seperti sungai Cikaniki telah banyak mengalami gangguan ekologi dari oleh aktivitas penambangan emas dan pasir liar, limbah industri, pertanian, maupun rumah tangga. Adanya gangguan aktivitas antropogenik tersebut telah sering dilaporkan memberikan dampak negatif bagi makrozoobentos misalnya: penurunan pada diversitas dan kelimpahannya. Penurunan diversitas dan kelimpahan dari komunitas makrozoobentos biasanya merupakan indikator yang baik dari gangguan ekologi yang terjadi pada sungai, sehingga dapat dimanfaatkan dalam konsep bioindikator lingkungan akuatik. Oleh sebab itu agar setiap proses yang terjadi didalam sungai berjalan alami sebagaimana mestinya dan berkelanjutan, maka dalam proses manajemen sungai sudah semestinya dilakukan tindakan pemantauan secara rutin guna menentukan status dan trend dari sumber daya air. Salah satu alat untuk memprediksi tingkat gangguan ekologi pada Sungai Cisadane yaitu dengan menggunakan pendekatan model multimetrik yang akan dikaji pada penelitian ini.

Dengan melihat kenyataan diatas maka perlu dilakukan penelitian pendahuluan ini yang bertujuan untuk 1). Dapat menetapkan daerah yang dapat digunakan sebagai *reference site* pada Sungai Cisadane yang sudah melalui prosedur seleksi fisik, kimia, dan biologi. 2). Membuat klasifikasi tingkat kerusakan atau gangguan pada beberapa ruas/ segmen sungai di DAS Cisadane yang didasarkan pada komunitas makrozoobentos. 3). Membangun sebuah kriteria biologi yang didasarkan pada konsep multimetrik dengan memanfaatkan komunitas makrozoobentos sebagai indikatornya. Dengan terbentuknya model yang didasarkan pada pendekatan multimetrik ini merupakan salah satu sumbangan *tool/* alat bagi pengambil keputusan guna manajemen dan konservasi sungai-sungai yang ada di Indonesia. Model ini diharapkan juga mampu mengevaluasi tingkat keberhasilan dari suatu kegiatan restorasi dari sungai-sungai yang telah mengalami gangguan oleh aktivitas antropogenik.

C. METODOLOGI

Penelitian pendahuluan ini dilakukan di beberapa ruas anak Sungai Cisadane yang dimulai dari bulan Juni 2003. Pemilihan titik lokasi sampling didasarkan pada order sungai dan besarnya gangguan yang terjadi dari mulai hulu hingga hilir. Lokasi kandidat dari *reference site* ditetapkan pada bagian hulu karena pada bagian hulu, kondisi habitatnya masih terjaga dengan baik/ dapat dikatakan masih minim gangguan. Stasiun yang akan diuji tingkat gangguan ekologi meliputi St1. S. Kramat Payung (Order 1), St 2. S. Cikudapaeh (Order 1), St 3. S. Citalahab sentral (order 2), dan St4. S. *Canopy trail*/ cikaniki hulu (order 3) yang terletak di daerah Taman Nasional G. Halimun. Stasiun 5 terletak di daerah Cisarua (order 3), St6. S. Putat Nutug (order 3), dan St 7. S. Pakulonan (order 3) di daerah Tangerang. Keseluruhan ruas sungai yang disebutkan diatas merupakan sungai penyusun dari DAS Cisadane.

Gangguan pada habitat yang terjadi disekeliling lokasi *sampling site* dilakukan penilaian habitat/ yang merujuk pada kriteria Barbour *et al.* (1999) meliputi: ketersediaan vegetasi penutup, banyaknya batu yang tertanam dalam dasar sungai, karakterisasi substrat genangan, kecepatan/ kombinasi kedalaman, variabilitas genangan, endapan sedimen, status aliran pada saluran, perubahan saluran, frekwensi dari belokan, liku-liku dari basin sungai, stabilitas pinggir sungai, lebar dari zona vegetatif riparian. Dari hasil penilaian habitat tersebut, kandidat dari daerah yang akan dijadikan sebagai *reference site* diharapkan mempunyai score yang tinggi / minim gangguan.

Penilaian secara kimia juga dilakukan guna menentukan tingkat status pencemaran organik yang terjadi di lokasi *sampling site* tersebut. Parameter kimia yang diukur pada penelitian ini lebih difokuskan hanya pada status pencemaran organik yang meliputi: DO saturasi, pH, suhu, amoniak, nitrat, orthophosphat, dan konduktivitas guna melakukan klasifikasi pencemaran organik yang didasarkan pada indek dari Kirchoff (1991). Metode analisis parameter kimia air untuk perhitungan indeks kimia Kirchoff meliputi:

1. Kondisi oksigen saturasi 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 ammonia (NH_4), diukur dengan metoda Thenate (APHA, 1995).
3. Konsentrasi Nitrat (NO_3), diukur dengan metoda Brucine (APHA, 1995).
4. Konsentrasi orto posphat (O-PO_4), diukur dengan metoda Ascorbic Acid (APHA, 1995).
5. Kondisi pH dan konduktivitas diukur dengan menggunakan alat ukur *Water Quality Checker* (WQC merk Horiba).

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

$$CI = \sum qi^{wi} = q1^{w1} \times q2^{w2} \times q3^{w3} \times \dots \times qn^{wn}$$

Dimana:

CI = adalah Nilai Indeks Kimia dari air S. Ciliwung pada setiap titik sampling

n = adalah banyaknya jumlah parameter

q = adalah parameter sub-indeks diperoleh dari pengurangan anggota parameter

diantara skala 0 sampai 100

w = adalah 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
- (sumberLAWA 1976 dalam Kirchoff, 1991).

Sampling fauna makrozoobentos dilakukan dengan menggunakan metode *traveling kick net* (Gambar 1) dengan sebuah alat *hand net* yang saringannya berpori-pori 0,5 mm. Penggunaan metode *traveling kick sampling* yang terstandarisasi memberikan kecepatan dan keakuratan data yang bersifat semikuantitatif pada komunitas biologi di bagian jeram. Kinney *et al.* (1978) dalam Lenat, Penrose, Eagleson (1981) menunjukkan bahwa koleksi sampel dengan menggunakan metode *traveling kick sampling* lebih unggul daripada menggunakan *surber* maupun substrat buatan lainnya, karena hasil yang diperoleh menunjukkan lebih konsisten dalam hal komposisi dan kekayaan taxanya. Substrat pada bagian mulut dari *hand-net* diganggu dengan cara diaduk dengan kaki, sehingga baik seresah maupun makrozoobentos akan ikut hanyut masuk kedalam saringan. Masing-masing *site* dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali ulangan. Standarisasi waktu dilakukan untuk setiap pengambilan sampel yaitu kurang lebih selama 15 menit. Pengawetan spesimen basah dilakukan dengan menggunakan larutan alkohol 90%, sehingga diperoleh konsentrasi akhir dari sampel basah kira-kira sebesar 70%. Pada ruas sungai yang tidak memungkinkan pengambilan dengan menggunakan *hand-net* misalnya pada stasiun Pakulonan, maka dilakukan modifikasi khusus dengan menggunakan alat *Ekman Grab* sebanyak 8 kali pengambilan. *Site/* lokasi yang mengandung banyak sedimen/ lumpur, larutan pengawetnya dengan menggunakan formaldehida 5% dan dimasukkan dalam keller plastik.



Gambar 1: Penggunaan metode *traevling net* pada daerah yang berjeram

Sortir makrozoobentos dilakukan dengan menggunakan mikroskop binokuler dengan pembesaran 5-25 kali. Prosedur subsampling diterapkan guna efisiensi waktu dan tenaga yang dilakukan dengan cara menyortir individu hingga 100 individu secara random (Bode, Novak, dan Abele 1991, 1996, Hillsenhoff 1987, 1988) di dalam sebuah kotak *grid subsampler*. Identifikasi makrozoobentos diusahakan sampai pada tingkat genus atau famili, dan khusus identifikasi dari larva insekta Diptera Chironomidae dan Cacing Oligochaeta akuatik identifikasinya dengan menggunakan larutan mounting CMCP-10 (Kathman dan Brinkhurst 1999).

Atribut biologi/ metrik yang digunakan untuk melihat tingkat gangguan ekologis pada setiap *sampling site* seperti tercantum pada Tabel 1. Penjelasan dari masing-masing metrik secara teknis adalah sebagai berikut:

Taxa richness/ kekayaan taxa: jumlah total taxa yang diketemukan pada 100 individu yang telah tersortir secara acak.

EPT: adalah singkatan dari Ephemeroptera, Plecoptera dan Trichoptera yang menunjukkan jumlah total taxa yang ditemukan dari grup insekta Ephemeroptera, Plecoptera, dan Trichoptera.

Taxa sensitif : Jumlah total taxa yang termasuk sensitif terhadap pencemaran organik yang merujuk dari daftar (Anonymous, 2002) misalnya : Ephemeroptera, Plecoptera dan sebagainya.

% dominansi 3: Jumlah kelimpahan dari 3 taxa yang paling dominan dari sampel yang telah tersortir (100 individu).

Indek *Biological Monitoring Working Party* (BMWP): Jumlah total dari setiap nilai bobot famili yang ditemukan. Penjelasan dari indeks ini dapat dilihat pada (Armitage *et al.* 1983)

Sensitifitas dari setiap metrik/ atribut biologi diatas digambarkan dalam grafik *Box-Whisker Plot*. Dari lima atribut biologi tersebut dilakukan tahap normalisasi guna menghasilkan sebuah indeks kumulatif yang disebut sebagai pendekatan model Multimetrik. Tahap normalisasi dilakukan dengan jalan menghitung *percentile* dari setiap atribut biologi diatas. Selanjutnya dilakukan tahap *scoring trisection* yaitu (1, 3, dan 5) pada masing-masing atribut biologi diatas. Secara umum jika metrik yang diharapkan meningkat dengan adanya

peningkatan gangguan/ stress (contoh: % dominansi 3), maka nilai metrik terendah sampai *percentile* ke 25% diberi score 5, *percentile* ke 25 sampai 75% diberi score 3, sedangkan diatas score 75 *percentile* diberi score 1. Begitu juga sebaliknya, jika metrik yang diharapkan adanya penurunan dari gangguan menunjukkan ketinggian kualitas dari metrik maka *score* dibalik dengan yang diatas (Barbour *et al.* 1999). Setelah melalui tahap *scoring* maka dilakukan penjumlahan dari masing-masing atribut biologi kedalam indek tunggal. Karena ada 5 metrik yang dipergunakan dalam normalisasi diatas, maka nilai *score* yang terendah adalah 5 dan *score* tertinggi adalah 25.

Tabel 1: Kandidat metrik yang digunakan untuk diskriminasi tingkat gangguan pada ekosistem sungai.

PENGELOMPOKAN ATRIBUT BIOLOGI	METRIK/ ATRIBUT BIOLOGI	RESPON YANG DIPREDIKSI DARI ADANYA GANGGUAN
<i>Taxa richness</i> dan komposisi	Jumlah total / kekayaan taxa	Menurun
	Jumlah taxa Plecoptera	Menurun
	Jumlah taxa EPT	Menurun
Toleransi/ sensitif	Jumlah taxa sensitif	Menurun
	Indeks BMWP	Menurun
Atribut populasi	% dominansi 3	Meningkat

Analisis data

Klasifikasi habitat yang didasarkan pada kesamaan komunitas makrozoobentos dilakukan dengan analisis statistik *non metrik dimensional scaling* (NMDS) dengan menggunakan rumus similaritas dari *Jaccard's*. Rumus indek similaritas dari Jaccard sebagai berikut (Mathews, Mathews, dan Landis, 1998):

$$\text{Indek Similaritas Jaccard's} = \frac{j}{a+b-j}$$

dimana,

j = Jumlah spesies yang ditemukan ada pada kedua tempat tersebut,

a = Jumlah taxa/ spesies yang ditemukan pada lokasi a, dan

b = jumlah taxa/ spesies yang ditemukan pada lokasi b.

Pengerjaan statistik NMDS tersebut dilakukan dengan menggunakan Software *Community Analysis Package* (CAP) versi 2.1 dari *Pisces Conservation Ltd*. Uji sensitifitas dari setiap metrik dari masing-masing *sampling site* dilakukan pengujian dengan menggunakan grafik *box-whisker plot*. Dari hasil penggabungan metrik yang telah dilakukan normalisasi dilakukan uji korelasi sederhana dari *pearson-product moment* dengan indek kimia dan indek habitat. Uji korelasi tersebut dilakukan guna melihat apakah dari indek komulatif biotik yang baru dihasilkan mampu mencerminkan perubahan pada habitat maupun tingkat pencemaran organik yang terjadi pada sungai Cisadane. Uji korelasi sederhana dilakukan dengan menggunakan *software* STATISTICA versi 5 dari *Stat soft*.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penilaian habitat yang dilakukan pada Stasiun 1 (Kramat Payung) yang terletak pada bagian hulu hingga stasiun 7 (Pakulonan) yang terletak pada bagian hilir menunjukkan adanya penurunan kualitas habitat yang ditandai dengan penurunan *score* indek habitat dengan meningkatnya order sungai. Penurunan kualitas habitat ini sebagian besar disebabkan adanya perubahan tata guna lahan yang semula tertutup rapat oleh vegetasi berubah kearah lahan pertanian dan perkotaan. Tutupan vegetasi pada stasiun Kramat Payung, Cikudapaeh, Citalahab, dan Cikaniki hulu relatif masih terjaga dengan baik karena terletak di Kawasan Taman Nasional Gunung Halimun. Sedangkan di daerah stasiun Cisarua hingga Stasiun Pakulonan yang terletak di Tangerang vegetasinya sudah jauh berkurang dan berganti ke aral pertanian, perkebunan, dan perkotaan. Ada konsekuensi logis antara berkurangnya vegetasi ini dengan peningkatan erosi tanah yang berdampak

pada peningkatan sedimentasi pada sungai. Peningkatan sedimentasi ini juga diperparah dengan aktivitas penambangan pasir yang dilakukan secara besar-besaran oleh penduduk disekitar stasiun Putat Nutug. Dari segi besarnya nilai kriteria habitat, maka stasiun Kramat payung, Cikudapaeh, dan Cikaniki hulu tersebut lebih cocok dimasukkan sebagai kandidat *reference site* untuk sungai yang bergradien tinggi. Daerah yang bergradien tinggi lainnya seperti stasiun Cisarua dan Putat nutug masuk dalam kategori marginal yang sudah menunjukkan besarnya gangguan yang terjadi akibat aktivitas antropogenik. Pada stasiun Cisarua nilai kriteria habitatnya lebih rendah dibandingkan dengan putat nutug karena pada daerah Cisarua merupakan daerah areal penambangan emas Gunung Pongkor yang banyak mengalami gangguan akibat peruntukan daerah sempadan sungai sebagai tempat lokasi penggilingan/ ekstraksi bijih emas dan lokasi pertanian. Hasil penilaian habitat secara lebih rinci dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2: Hasil penilaian habitat yang dilakukan disepanjang segmen sungai Cisdane yang didasarkan pada kriteria dari Barbour (1999)

NAMA STASIUN	NILAI INDEK HABITAT	KRITERIA
Kramat payung	160	Optimal
Cikudapaeh	167	Optimal
Citalahab sentral	159	Sub-optimal
Cikaniki hulu/ canopy trail	163	Optimal
Cisarua	102	Marginal
Putat Nutug	104	Marginal
Pakulonan	81	Buruk

Dari segi status pencemaran organik pada titik sampling yang dilakukan pada ruas anak sungai Cisdane, maka menunjukkan daerah hulu yang diwakili oleh stasiun Kramat Payung, Cikudapaeh, Citalahab sentral, dan Cikaniki hulu dalam status yang belum mengalami pencemaran organik. Daerah tersebut seperti

yang sudah dijelaskan sebelumnya merupakan lokasi di hutan Taman Nasional Gunung Halimun yang relatif kecil gangguan dari aktivitas antropogenik. Pada stasiun Cisarua hingga Pakulonan dalam kategori mengalami pencemaran ringan. Pencemaran organik di stasiun Cisarua sebagian besar limbahnya berasal dari limbah rumah tangga, ekstraksi bijih emas, dan dari lahan pertanian. Stasiun Putat Nutug terletak di daerah Parung Bogor sumber pencemarnya relatif kompleks mulai dari limbah rumah tangga, industri, dan pertanian yang mungkin tidak sepadat dari daerah pakulonan yang lebih banyak didominasi oleh limbah industri dan rumah tangga. Dari hasil penilaian parameter kimia ini pada stasiun Pakulonan dan Putat Nutug mungkin ada sedikit ada penyimpangan dari kriteria indek Kirchoff yang masuk dalam kategori tercemar ringan. Adanya penyimpangan ini bisa terjadi karena pada saat sampling dilakukan di daerah tersebut sungainya dalam kondisi banjir yang mengakibatkan peningkatan debit sungai yang berdampak pada pengenceran dari polutan organik. Karena survey ini baru merupakan suatu survey pendahuluan dan dilakukan pada sekali sampling saja, maka untuk mendapatkan hasil yang akurat dari kualitas air tersebut perlu dilakukan monitoring secara kontinyu guna mengetahui trend pencemaran dari stasiun Putat Nutug dan pakulonan. Rincian tingkat pencemaran organik yang terjadi pada *sampling site* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Tingkat pencemaran organik pada sungai Cisadane dengan menggunakan kriteria dari Indek Kimia Kirchoff (1991).

NAMA STASIUN	NILAI INDEK KIMIA	KRITERIA
Kramat payung	88,4221	Belum tercemar
Cikudapaeh	88,5212	Belum tercemar
Citalahab sentral	88,2919	Belum tercemar
Cikaniki hulu	87,4182	Belum tercemar
Cisarua	74,1205	Tercemar ringan
Putat Nutug	64,9002	Tercemar ringan
Pakulonan	70,0974	Tercemar ringan

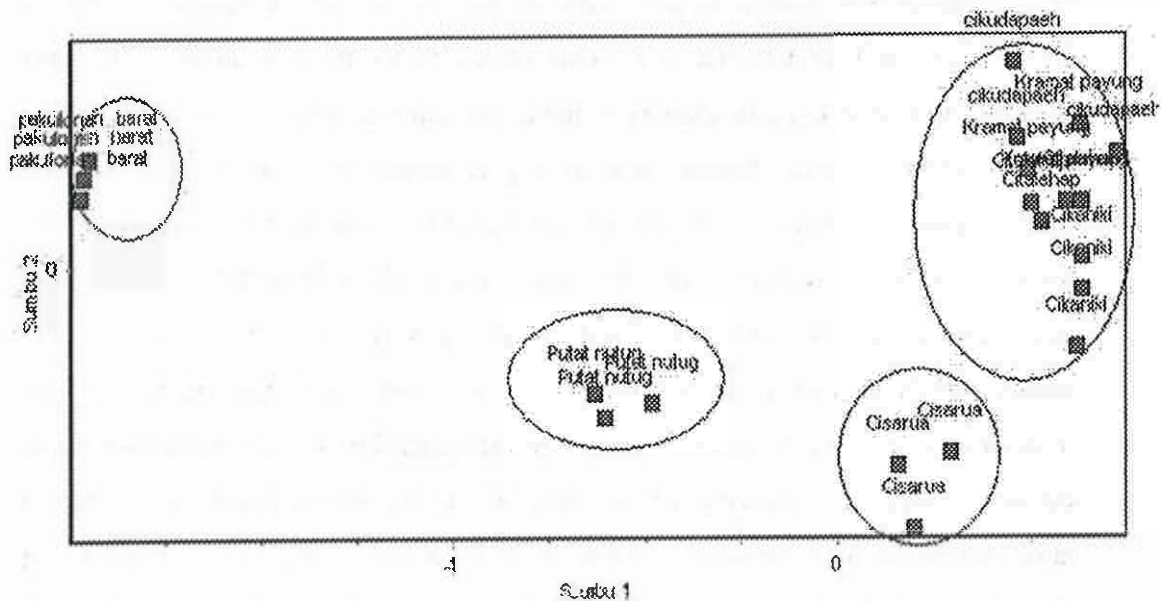
Hasil klasifikasi tempat/ stasiun yang didasarkan pada similaritas komunitas makrozoobentos dengan menggunakan rumus indek Jaccard pada analisis statistik NMDS (Gambar 2) menunjukkan ada empat grup pengelompokan habitat. Kelompok Grup I merupakan makrozoobentos yang hidup pada gradien tinggi yang terletak di daerah hulu dari sungai Cisadane meliputi Stasiun Kramat Payung, Cikaniki hulu, Cikudapaeh, dan Citalahab. Empat stasiun tersebut seperti yang telah disebutkan sebelumnya dapat dikatakan kondisi habitatnya masih relatif baik dan vegetasi *canopy*-nya masih lebat dengan minimnya gangguan oleh aktivitas manusia, sehingga dapat dijadikan sebagai *reference site*. Grup II makrozoobentos yang hidup pada kondisi air yang telah mengalami pencemaran ringan oleh polusi organik, baik yang berasal dari limbah pertanian maupun dari aktivitas penambangan emas di Gunung Pongkor.

Grup III adalah daerah stasiun Putat Nutug yang masih merupakan daerah bergradien tinggi dibawah daerah Cisarua dan tempat aktivitas penduduk lokal penambang pasir, dan Grup IV merupakan daerah yang bergradien rendah yang sebagian besar didominasi oleh pencemar industri dan rumah tangga.

Adanya Pengelompokan komunitas tersebut diatas kemungkinan besar disebabkan oleh beberapa faktor antara lain 1). Berkurangnya vegetasi *canopy* dari mulai stasiun Cisarua hingga Putat Nutug akan mempengaruhi kandungan nutrien *allochthonous* yang berupa *Coarse Particulate Organic Matter* (CPOM) maupun seresah ranting kayu/ *Large Wood debris* (LWD) yang jatuh masuk kedalam sungai. CPOM dan LWD ini akan dimanfaatkan oleh beberapa makrozoobentos sebagai sumber makanan seperti dari ordo Ephemeroptera yaitu: *Heptagenia*, *Rhytrogena*, *Neboissophlebia* dan sebagainya dan sarang tempat tinggal oleh beberapa jenis makrozoobentos seperti dari ordo Trichoptera: *Lepidostoma*, *Agapetus* dan sebagainya. LWD sendiri mungkin mempunyai nilai nutrisi yang rendah, akan tetapi mikroba yang tumbuh pada permukaan LWD tersebut yang mempunyai nilai nutrisi tinggi yang akan dimanfaatkan oleh makrozoobentos dalam memenuhi kebutuhan hidupnya (Harsey dan Lamberti, 1998). Semakin berkurangnya vegetasi *canopy*, maka akan berkurang pula kandungan CPOM dan LWD-nya dan akan berpengaruh pada komposisi dan kelimpahan dari makrozoobentos sesuai dengan status fungsional *feeding*-nya. Adanya kombinasi faktor ketinggian dari 1348 hingga 51m dpl dan berkurangnya vegetasi *canopy* juga berdampak pada peningkatan temperatur air (dari 18,4 °C dibagian hulu hingga 27,8 °C di bagian hilir) dan kandungan oksigen (8,38 hingga 6,46 mg/l di bagian hilir) dapat mempengaruhi preferensi habitat dari setiap makrozoobentos yang ada. Sinar matahari dapat secara langsung berpenetrasi masuk hingga ke dasar sungai akan mempercepat laju dekomposisi dari bahan organik oleh mikroba maupun proses fotosintesis oleh beberapa jenis algae untuk tumbuh dan berkembang. Algae yang tumbuh pada permukaan substrat ini akan digunakan oleh makrozoobentos yang bertipe *scraper* maupun *gatherer-collector* sebagai sumber makanannya. Sehingga tidak mengherankan didaerah seperti stasiun Cisarua dan Putat Nutug lebih banyak didominasi oleh makrozoobentos Ephemeroptera yang bertipe *scraper* seperti: *Stenacron* sp. dan *gatherer*.

collectors: *Baetis sp.*, *Platybaetis*, dan *Traverella sp.* Algae yang berbentuk sebagai lumut disamping berfungsi sebagai sumber makanan juga berfungsi sebagai penjebak dari makanan yang hanyut oleh air (Harsey dan Lamberti, 1998). Oleh sebab itu beberapa jenis dari Chironomidae yang telah ditemukan seperti *Polypedilum*, *Rheotanytarsus* dan sebagainya banyak memanfaatkan algae ini untuk mendapatkan makanan yang hanyut oleh arus air. 2). Adanya polusi organik dan stress oleh habitat yang terjadi disepanjang ruas sungai Cisadane dapat merubah komposisi dan kelimpahan dari banyak makroinvertebrata. Dari nilai indek kimia pada stasiun Cisarua hingga Pakulonan yang mulai menunjukkan status pencemaran organik akan diikuti dengan penurunan komposisi kekayaan taxa (Gambar 3) dan perubahan dominansi dari komunitas makrozoobentos (Gambar 6). Ini mengindikasikan bahwa tempat tersebut sudah mendapat gangguan ekologi sebagai akibat peningkatan aktivitas antropogenik dibandingkan dengan hewan yang ada di daerah *reference site*. Semakin menuju kearah hilir (Putat Nutug) gangguannya relatif lebih besar baik yang disebabkan pencemaran maupun pengaruh sedimentasi yang ditunjukkan dengan peningkatan Turbiditasnya. Dari daerah Cisarua turbiditasnya mulai meningkat cukup signifikan dibandingkan dengan stasiun reference site sebelumnya, yaitu dari 5 NTU (Cikaniki hulu) hingga ke 100,19 NTU (Cisarua). Stasiun Cisarua sampai Pakulonan turbiditasnya semakin meningkat dari 100,19 NTU hingga 158 NTU. Quinn *et. al* (1992) mengamati adanya peningkatan turbiditas diatas 23 NTU menurunkan kekayaan dan kepadatan taxa dari sebagian besar fauna makrozoobentos. Di Negara Amerika Serikat sendiri telah mengeluarkan kriteria untuk turbiditas untuk perlindungan hewan akuatik secara umum berkisar antara 5-25 NTU. Dampak peningkatan partikel tersuspensi ini pada komunitas makrozoobentos adalah sebagai berikut: merubah komposisi dan preferensi substrat/ habitat dari beberapa taxa makrozoobentos, menutupi dan mengganggu organ respirasi, merubah aktivitas *feeding* terutama yang bertipe *filter feeding*, dan penurunan nilai nutrisi dari perifiton sebagai makanan utamanya (Wood dan Armitage, 1997). Peningkatan sedimentasi ini akan dimanfaatkan oleh cacing Oligocheta yang bertipe *funksional feeding gatherer-collector* yang memakan

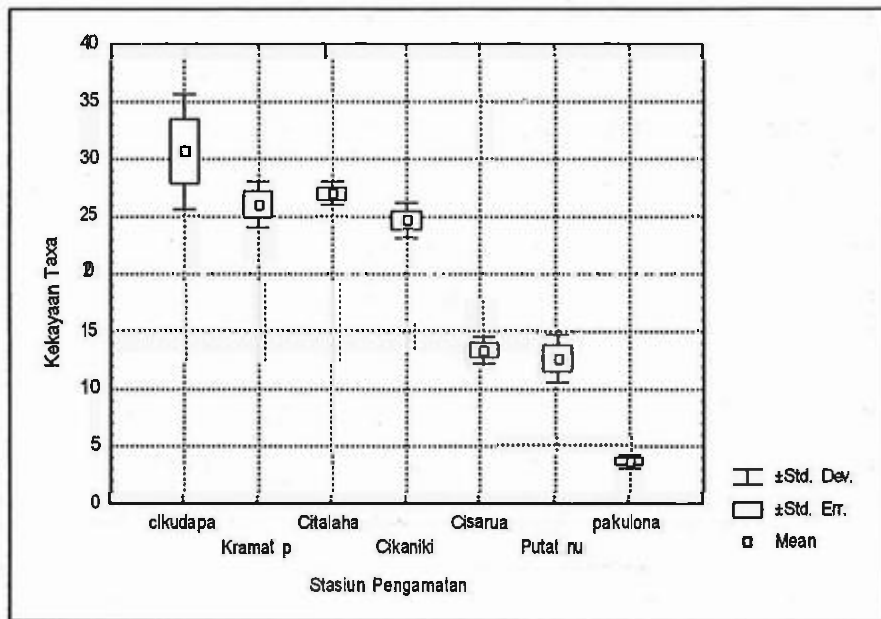
detritus halus atau *Fine Particulate organic matter* (FPOM), sehingga mampu mendominasi stasiun Pakulonan yang sebagian besar bertipe susbtrat lumpur.



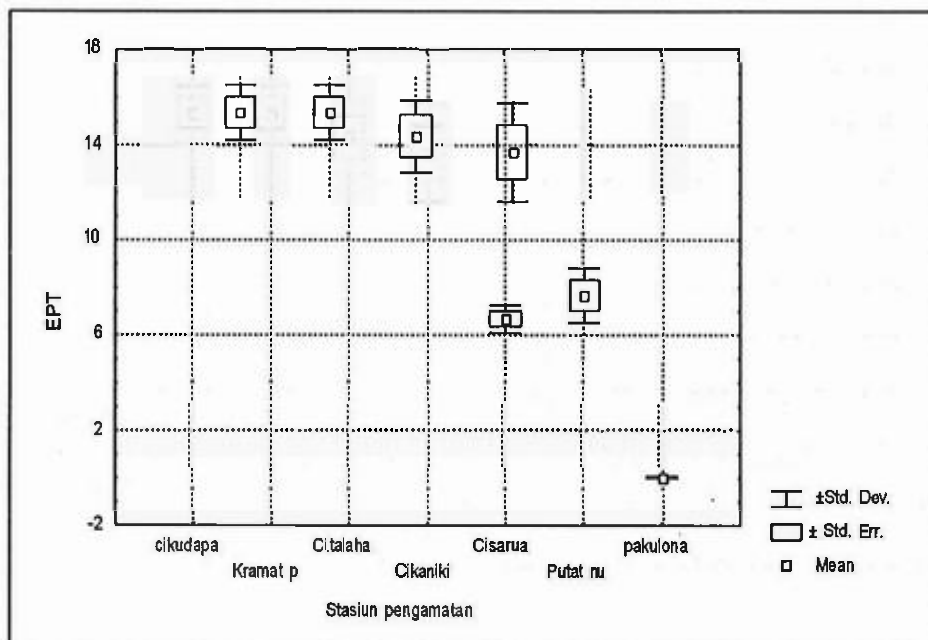
Gambar 2. Grafik biplot klasifikasi habitat berdasarkan pada similaritas komunitas makrozoobentos

Didasarkan sensitifitas metrik biologi guna mendeteksi besarnya gangguan yang disebabkan oleh polusi maupun perubahan habitat, maka dipilihlah 5 atribut biologi/ metrik yang cukup sensitif dalam diskriminasi lokasi berdasarkan tingkat gangguan pada komunitas makrozoobentos. Metrik tersebut antara lain: kekayaan taxa, EPT, Jumlah taxa sensitif, % dominansi 3, dan indek BMWP.(Gambar 3-7). Dari Gambar grafik *Box-whiskerplot* pada masing-masing metrik tersebut dibagian bawah dan grafik biplot NMDS diatas (Gambar 2) terlihat adanya 3 pemisahan kelompok besar yang cukup signifikan. Kelompok pertama terdiri dari 4 stasiun yaitu: Kramat Payung, Cikudapah, Citalahab, dan Cikaniki Hulu sebagai stasiun yang belum/ minim mengalami gangguan (*reference site*). Kelompok kedua terdiri dari 2 stasiun yaitu: Cisarua dan Putat Nutug, yang ada didalam grafik NMDS menunjukkan komunitas yang berbeda antara kedua stasiun tersebut, akan tetapi dalam penggunaan 5 metrik ini tidak terlihat perbedaan secara signifikan antara keduanya. Kelompok 3 adalah stasiun Pakulonan yang mewakili daerah yang telah mengalami gangguan berat.

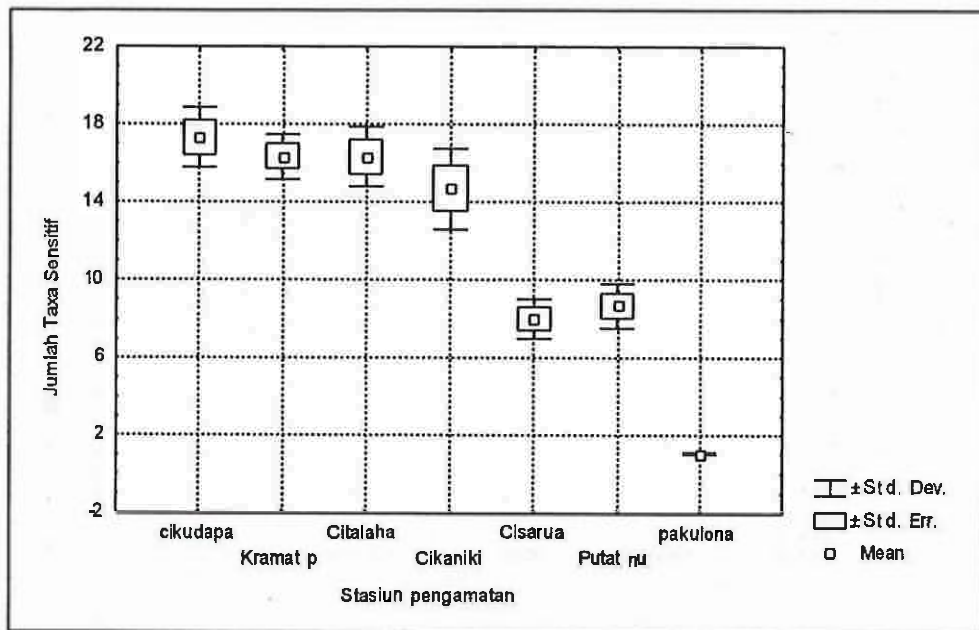
Pada Gambar 3 grafik *Box -Whisker plot* dari metrik kekayaan taxa, daerah yang minim gangguan yaitu stasiun: Kramat Payung, Cikudapaeh, Cikaniki Hulu, dan Citalahab mempunyai kisaran nilai antara 23-36, daerah dengan gangguan sedang yaitu stasiun Cisarua dan Putat Nutug mempunyai kisaran 11-15, dan Stasiun Pakulonan dengan gangguan berat mempunyai nilai 3 - 4. Nilai metrik EPT (Gambar 4) pada lokasi yang minim gangguan berkisar antara 12 - 16, gangguan sedang antara 6 - 9, dan gangguan berat 0. Metrik jumlah taxa sensitif (Gambar 5) pada daerah *reference site* adalah 13 hingga 19, daerah yang mengalami gangguan sedang antara 8-10, dan yang mengalami gangguan berat mempunyai nilai 1. Metrik % dominansi 3 (Gambar 6) pada *reference site* berkisar antara 26-47 %, daerah yang telah mengalami gangguan sedang 63-80%, dan yang mengalami gangguan berat dari 98 - 100%. Indek BMWP (Gambar 7) pada *reference site* berkisar antara 81-107, daerah yang telah mengalami gangguan sedang 32-46, dan gangguan yang berat adalah 0. Dari gambar grafik *Box-whisker&Plot* diatas menunjukkan setiap metrik akan merespon setiap gangguan yang terjadi pada titik *sampling site* dan informasi yang diberikan dari metrik tersebut akan berbeda dari metrik satu dengan lainnya. Metrik diatas menunjukkan sensitif dalam mendeteksi tingkat gangguan ekologisnya yang ditunjukkan dengan tidak ada grafik yang saling *overlapping* antara daerah yang belum dan sudah mengalami gangguan. Disamping itu nilai kisaran dari masing-masing metrik yang besar akan sangat bermanfaat dalam penyusunan indek multimetrik. Tingginya nilai dari beberapa metrik diatas pada daerah *reference site* mengindikasikan kecilnya gangguan pada komunitas makrozoobentos/ relatif stabil. Oleh sebab itu sudah selayaknya pada bagian *reference* yang terletak di Taman Nasional Gunung Halimun perlu untuk dijaga/ dilindungi karena berfungsi ganda sebagai *benchmark* dari pengembangan sistem pemantauan biologi dan sebagai sumber materi genetik yang tidak terbaharui, ketika sungai yang ada dibawahnya mengalami gangguan (Cullen, 2002).



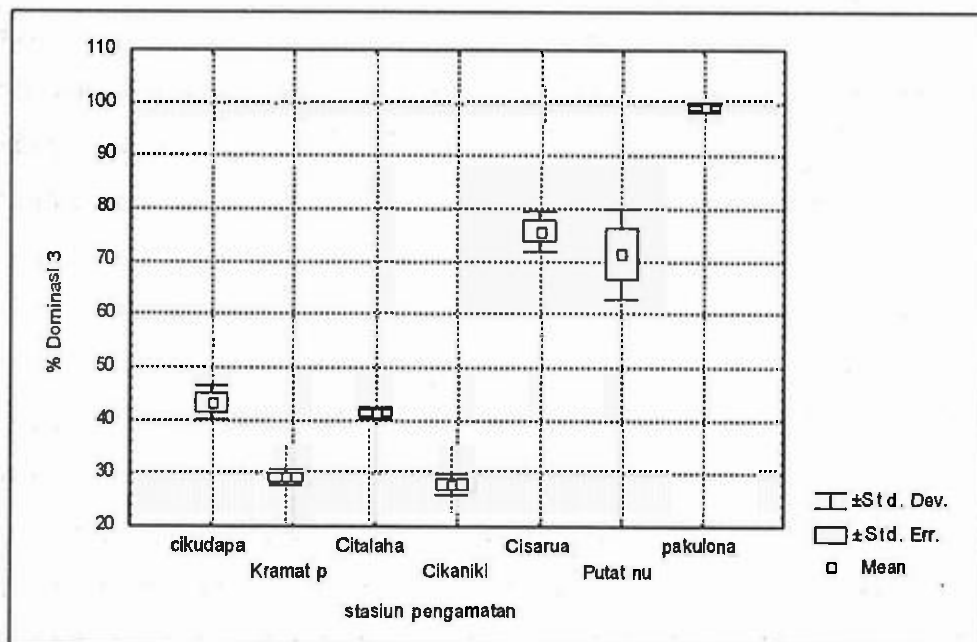
Gambar 3: Grafik Box-Whisker plot dari metrik kekayaan taxa dalam diskriminasi sampling site.



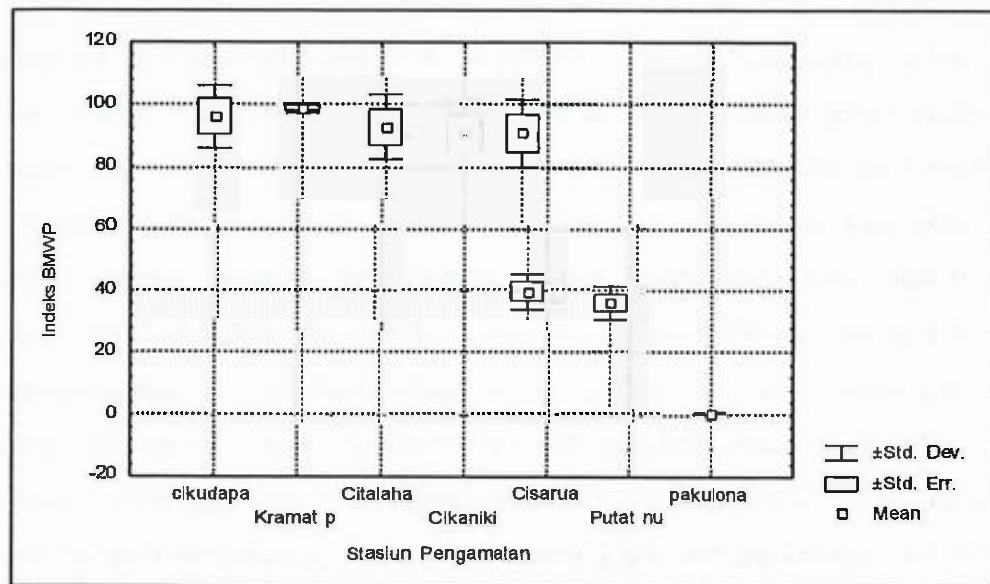
Gambar 4: Grafik Box-Whisker plot dari metrik EPT dalam diskriminasi sampling site.



Gambar 5: Grafik Box-Whisker plot dari metrik Jumlah taxa sensitif dalam diskriminasi sampling site.



Gambar 6: Grafik Box-Whisker plot dari metrik % dominansi 3 dalam diskriminasi sampling site.



Gambar 7: Grafik Box-Whisker plot dari metrik BMWP dalam diskriminasi sampling site.

Dari 5 metrik tersebut diatas dalam menggambarkan tingkat gangguan pada komunitas biologi, maka dicoba dilakukan normalisasi guna menghasilkan sebuah indek yang disebut sebagai indek kumulatif biotik dalam memudahkan intepratasi hasil kumulatif yang lebih dikenal sebagai pendekatan model multimetrik. Hasil setelah dilakukan normalisasi dari atribut biologi diatas, maka daerah dengan minim/ belum mengalami gangguan atau yang didefinisikan sebagai *reference site* terdapat pada St. Cikudapaeh, Kramat Payung, Citalahab, dan Cikaniki hulu mempunyai nilai indek kumulatif biotik sebesar 17 - 19, St. Cisarua dan Putat Nutug yang telah mengalami gangguan sedang mempunyai indek kumulatif biotik sebesar 11 - 15, dan khusus stasiun pakulonan yang telah mengalami gangguan pada habitat dan pencemaran berat yang terletak pada gradien rendah mempunyai nilai 5. Khusus pada st. Pakulonan mungkin penggunaan indek kumulatif ini dikembangkan dalam kondisi yang tidak optimal karena adanya perbedaan dari gradien. Akan tetapi pada penelitian ini juga dimasukkan dalam normalisasi karena sebagai perwakilan dari stress maksimum pada komunitas makrozoobentos. Perbedaan dalam gradien ini mungkin masih dapat diterima dalam rangka pengembangan dari *reference site* yang didasarkan

pada identifikasi *reference site* pada site spesifik untuk evaluasi masing-masing dari setiap gangguan. Kondisi *reference site* pada site spesifik seringkali digunakan untuk evaluasi pengaruh dari sebuah *point sources*, dan terbaik untuk air permukaan dengan kuatnya arus air seperti pada bagian jeram (pendekatan hulu-hilir) atau pada air permukaan lainnya dimana kuatnya gradien konsentrasi kontaminan yang didasarkan pada kedekatannya dengan sumber polusi (pendekatan jauh-dekat di lapangan) (Keran, Karr, dan Ahlstedt 1992). Indeks kumulatif biotik yang telah disusun ini mungkin masih banyak penyempurnaan dan validasi yang harus dilakukan karena terbatasnya data *base* dari komunitas makrozoobentos dari mulai bagian hulu hingga hilir dan gambaran kondisi habitat dan kualitas air dari yang belum mengalami pencemaran maupun yang telah mengalami pencemaran berat. Kriteria hasil normalisasi dari atribut biologi diatas maka disusun kriteria kumulatif biotiknya seperti yang tercantum pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4: Hasil nilai kriteria dari indeks kumulatif biotik dalam mencerminkan tingkat gangguan pada sungai Cisadane

	Sungai yang belum/ sedikit mengalami gangguan	Daerah dengan gangguan sedang	Daerah dengan gangguan berat
Nilai Score	5	3	1
Atribut Biologi			
1. Kekayaan Taxa	≥ 26	25 – 12	≤ 11
2. EPT	≥ 14	7 – 13	≤ 6
3. Jumlah taxa sensitif	≥ 16	15 – 8	≤ 7
4. % dominansi 3	≤ 42	43 – 74	≥ 75
5. BMWP	≥ 96	95 – 35	≤ 34
Kriteria Kumulatif Biotik	17-25	16 – 11	10-5

Hasil korelasi sederhana dari indeks kumulatif biotik yang baru dihasilkan dengan indeks kimia menunjukkan adanya korelasi yang signifikan ($P < 0,05$). Sedangkan Indeks kumulatif biotik dengan indeks habitat mempunyai korelasi yang sangat signifikan ($P = 0,0000$). Dari nilai korelasi ini menunjukkan indeks kumulatif biotik ini sensitif dalam mendeteksi tingkat gangguan pada habitat maupun gangguan akibat pencemaran. Keuntungan dari penggunaan indeks kumulatif biotik ini terletak pada informasi yang dihasilkan dari indeks ini mampu menggambarkan tingkat keseimbangan populasi, toleransi polusi, dan keanekaragaman dari makrozoobentos secara komprehensif dan terintegrasi. Prospek pengembangan indeks ini akan sangat lebih besar jika dalam indeks tersebut nantinya dimasukkan komponen fungsional *feeding* dari makrozoobentos seperti yang dikembangkan oleh Keran dan Karr (1994) dalam *index biotic integrity* (IBI). Pada Tabel 5 dibawah berikut ini merupakan nilai korelasi sederhana dari *Pearson-product moment*.

Tabel 5: Nilai korelasi antara indeks kumulatif biotik dengan indeks kimia Kirchoff dan Indeks habitat.

Variabel	Indek Kumulatif Biotik	Indek Kimia	Indek Habitat
Indek Kumulatif biotik	1	0.8992 $p=0.006$	0.9671 $p=0.000$
Indek Kimia	0.8992 $p=0.006$	1	0,9345 $p=0.002$
Indek Habitat	0.9671 $p=0.000$	0,9345 $p=0.002$	1

E. KESIMPULAN

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan beberapa hal penting antara lain:

1. Hasil seleksi parameter fisik, kimia, dan biologi menunjukkan daerah *reference site* pada daerah yang bergradien tinggi di sungai Cisadane dapat ditetapkan pada stasiun Kramat Payung, Cikudaeh, Citalahab, dan Cikaniki hulu di Taman Nasional Gunung Halimun.
2. Klasifikasi tempat berdasarkan similaritas dari komunitas makrozoobentos setelah dilakukan ordinasasi dengan NMDS menunjukkan keterkaitan dengan tingkat gangguan pada habitat, dan kualitas air.
3. Indek yang dihasilkan dari pendekatan multimetrik atau yang disebut dengan indek kumulatif biotik cukup sensitif dalam memisahkan daerah yang belum dan sudah mengalami gangguan.dari indek tersebut didapatkan kriteria sebagai berikut: 17 –25 dikategorikan dalam daerah yang belum mengalami gangguan/ baik, 16 – 11 dikategorikan mengalami gangguan yang sedang, dan 10 hingga 5 dikategorikan dalam daerah yang mengalami gangguan berat/ buruk.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Angermeier P.L. dan J.R. Karr, 1995, Biological Integrity Versus Biological Diversity As Policy Directives, *BioScience* 44 (10): 690-697pp.
- Anonymus, 2002, Save Our Stream, Sample Record and Assesment Form, www.people.virginia.edu/~sos-iwla/Stream-Study/Methods/FormIntro.HTML, 5pp
- APPHA, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 19th edition, American Public Association/ American Water Work Association/ Water Environment Federation Washington DC, USA.
- Armitage P.D., D. Moss, J.F. Wright, M.T. Furse, 1983, The Performance of a New Biological Water Quality Score System Based on Macroinvertebrates Over a Wide Range of Polluted Running-Water sites, *Water Research* 17: 333-347pp.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, J.B. Stribling, 1999, Rapid Bioassessment Protocols For Use In Streams And Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates And Fish, Second Edition, EPA 841-B-99-002, US-EPA, Office Of Water Washington, D.C.
- Bode R.W., M.A. Novak, L.E. Abele, 1991, Methods for rapid biological assessment of stream, NYS Dept. of Environmental Conseravtion, Albany, New York, 57pp.
- Bode, R.W., M.A. Novak, L.E. Abele, 1996, Quality Assurance Workplan For Biological Stream Monitoring In New York State, NYS Department Of Environmental Conservation, Albany, New York, 89pp.
- Chessman B, 2003, Signal 2 – A Scoring System for Macroinvertebrate (Water Bug) in Australian River, Monitoring River Health initiative Technical Report no 31, Commonwealth in Australia, Canberra, 32pp
- Cullen P.E., 2002, Conserving Natural Rivers, A Guide For Catchment Managers, River Management Series Part 1, Cooperative Research Centre For Freshwater Ecology, 12pp.

- Fore L.S., J.R. Karr, L.L. Conquest, 1993, Statistical Properties Of Index Of Biological Integrity Used To Evaluate Water Resource, *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 51: 1077-1087pp
- Hersey A.E., G.A. Lamberti, 1998, Stream Macroinvertebrate Communities, Chapter 8, in: River Ecology and Management Lessons from the Pasific Coastal Ecoregion, R.J. Naiman and R.E. Bilby (eds), Springer, New York, 169-199pp.
- Hillsenhoff W.L. , 1988, Rapid Field Assessment of Organic Pollution with a Family-Level Biotic Index, *J. North Am. Benthol. Soc.* 7(1): 65-68pp.
- Hilsenhoff W.L., 1987, An Improved biotic Index of Organic stream pollution, *The Great lakes Entomologist* 20: 31-39pp.
- Hughes R. M., 1986, Defining Acceptable Biological Status By Comparing With Reference Conditions, Pages 31-48pp In W.S. Davis And T.P. Simon Eds, Biological Assessment And Criteria: Tools For Water Resources Planning And Decision Making, Lewis, Boca Raton, FL.
- Kathman R.D., Dan R.O. Brinkhurst, 1999, Guide To The Freshwater Oligochaetes Of North America, Tennessee, USA, 264pp
- Keran B.L. Dan J.R. Karr, 1994, A Benthic Index Of Biotic Integrity (B-IBI) For River Of The Tennesse Valley, *Ecol. Appl* 4: 768-785pp.
- Keran, B.L., J.R. Karr, S.A. Ahlstedt, 1992, Aquatic Invertebrate Assemblages: Spatial and Temporal Differences Among Sampling Protocols, *J. N .Am. Benthol. Soc.* 11: 377-390pp
- Kirchoff W.,1991, water quality Assessment based on Physical, Chemical, and biological Parameters For Citarum River Basin, Bandung, 12pp.
- Kollwitz R., M. marsson, 1909, Okologie Der Tierische Saprobien, Beitarge Zur Lehre Von Der Biologische Gewasserbeuteilung, *Internal. Rev. Hydrobiol* 2: 126-152pp.
- Lenat D.R., M.T. Barbour, 1994, Using Benthic Macroinvertebrate Community Structure For Rapid,Cost-Effective,Water Quality Monitoring: Rapid Bioassessment in: S.L. Loeb, A. Spacie: Biological Monitoring of Aquatic Systems, Lewis Publishers, 187-215 pp,

- Lenat D.R., D.L. Penrose, K.W. Eagleson, 1981, Variable Effects of Sediment on Stream Benthos, *Hydrobiologia* 79: 187-194pp.
- Mathews R.A., G.B. Mathews, dan W.G. Landis, 1998, Application of Community Level Toxicity Testing to Environmental Risk assessment, in: M.C. Newman and C.L. Strojan (eds), Risk Assessment: Logic and Measurement, Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, 225-234pp
- Norris R.H. dan M.C. Thoms, 1999, What Is River Health?, *Freshwater Biology* 41: 197-209pp.
- Quinn J.M., R.J. Davies-Colley, C. W. Hickey, M.L. Vickers, P.A. Ryan, 1992, Effects of Clay Discharges on Stream, 2. Benthic Invertebrates, *Hydrobiologia* 248: 235-247pp.
- Reynoldson T.B., J.C. Metcalfe-Smith, 1992, An Overview Of The Assessment Of Aquatic Ecosystem Health Using Benthic Invertebrates, *Journal Of Aquatic Ecosystem Health* 1: 295-308pp
- Reynoldson T.B., R.H. Norris, V.H. Resh, K.E. Day, D.M. Rosenberg, 1997, The Reference Condition: A Comparison Of Multimetric And Multivariate Approaches To Assess Water Quality Impairment Using Benthic Macroinvertebrates, *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16(4): 833-852pp.
- Wright, J.F., 1995, Development And Use Of A System For Predicting The Macroinvertebrates Fauna In Flowing Water, *Australian Journal Of Ecology* 20: 181-197pp.
- Wood, P.J., P.D. Armitage, 1997, Biological Effects of Fine sediment in The Lotic Environment, *Environmental Management* 21(2): 203-217pp

