

PENGARUH UKURAN SAMPEL MAKROZOOBENTOS BIOINDIKATOR TERHADAP PENILAIAN TINGKAT PENCEMARAN AIR SUNGAI

THE EFFECT OF SAMPLE SIZE OF MACROZOOBENTHOS BIOINDICATOR ON ASSESSMENT OF RIVER WATER POLLUTION

Syamsul Bahri

Peneliti Pusat Litbang Sumber Daya Air
Kementerian Pekerjaan Umum
E-mail: sy_albahri@yahoo.co.id

Diterima: 23 Mei 2014; Disetujui: 30 Oktober 2014

ABSTRAK

Di Indonesia telah banyak dilakukan penelitian tentang biomonitoring atau bioasesmen dengan makrozoobentos untuk menilai kualitas air sungai. Penelitiannya bersifat aplikatif dari metode yang digunakan di daerah sub-tropik, termasuk di antaranya penggunaan angka hitung tetap untuk proses sub-sampling. Tujuan penelitian ini adalah i). Mendapatkan perkiraan angka jumlah makrozoobentos representatif ketika sampling dari sungai dengan metode mengaduk-aduk dasar sungai dengan kaki, ii). Mendapatkan angka hitung tetap yang digunakan untuk proses sub-sampling, iii). Mengetahui penyimpangan penilaian tingkat pencemaran air sungai, akibat kesalahan dalam penentuan besaran angka hitung tetap makrozoobentos hasil sub-sampling secara random terhadap hasil sensus. Manfaat penelitian adalah menjadi acuan dalam memprediksi angka jumlah makrozoobentos representatif yang diambil menggunakan alat Dip-net dari dasar sungai dan acuan penggunaan angka hitung tetap untuk proses sub-sampling secara random. Penelitian eksperimental ini menggunakan desain acak sempurna satu faktor perlakuan, yaitu variasi jumlah individu makrozoobentos terhadap jumlah genusnya. Berdasarkan hasil penelitian i). Prakiraan angka jumlah makrozoobentos representatif dari sampel yang diambil dari sungai dengan teknik diaduk-aduk dengan kaki adalah lebih besar dari 500 individu, ii). Angka hitung tetap organisme makrozoobentos untuk proses sub-sampling secara random berkisar antara 200 - 500 individu, iii). Bila menetapkan angka hitung tetap di bawah 200 individu, maka akan terjadi penurunan penilaian kelas kriteria kualitas air.

Kata kunci: *Pencemaran air sungai, makrozoobentos, angka hitung tetap, jumlah makrozoobentos representatif*

ABSTRACT

Many studies of Biomonitoring or bioassessment with macro-zoobenthos for river water quality analysis has been done in Indonesia. All of the studies uses the methods in sub-trophic, included of the fixed count subsampling. The aims of research are i). to get the number of representative macro-zoobenthos when kicking technique sampling, ii). To get the number of the fixed count sub-sampling, iii) To comparison the results of subsampling and sensus. The benefits of research could be a reference to predict the number of representative macro-zoobenthos when kicking technique sampling and a reference of the fixed count sub-sampling. The experimental study using a randomized design with one factor, namely the variation of amount individual of macro-zoobenthos. Based on the research i). the number of representative macro-zoobenthos when kicking technique sampling is more than 500 individuals, ii). the number of the fixed count sub-sampling is a ranging 200 – 500 individual, iii). When a setting of the fixed count sub-sampling less than 200 individuals, the criteria of water quality level is going to decline.

Keywords: *River water pollution, macrozoobenthos, fixed count, representative of macrozoobenthos sample*

PENDAHULUAN

Dalam merencanakan suatu survey bioasesmen ataupun biomonitoring di sungai menggunakan indikator makrozoobentos, data yang dihasilkan dapat berupa data kuantitatif dan kualitatif. Metode bioasesmen cepat (*Rapid Bioassessment Method*) dengan makrozoobentos untuk menilai kualitas air adalah salah satu metode dengan penilaian kualitatif yang berkembang tahun 1980-an. Metode tersebut dikembangkan sebagai respon adanya faktor biaya tinggi, ketika menggunakan metode pendekatan kuantitatif (Resh and Jackson, 1993). Data kuantitatif dan kualitatif tentang makrozoobentos di sungai dapat diperoleh dengan menggunakan alat yang spesifik. Alat yang digunakan untuk menghasilkan data makrozoobentos kuantitatif di antaranya dapat menggunakan alat Petersen *grab*, Ponar *grab*, Van Veen *grab*, Smith-McIntyre *grab*, Shipek *grab*, Ekman *grab*, Surber atau square-foot sampler. Adapun alat yang digunakan untuk menghasikan data makrozoobentos kualitatif dapat menggunakan alat *hand net*, seperti model Dip-Net (APHA-AWWA-WEF, 2012).

Beberapa keuntungan ketika pengambilan sampel makrozoobentos dilakukan secara kualitatif, di antaranya memungkinkan mendapatkan berbagai jenis makrozoobentos dari berbagai habitat (OHIO EPA, 2013). Alat *hand net* seperti model D-Net, alat ini mampu mencapai area sungai yang ditumbuhi oleh tanaman-tanaman air, sepanjang pinggir sungai, dan tempat-tempat yang sukar dicapai ketika melakukan sampling secara kuantitatif dilakukan (Welch and Lindell, 1992). Di samping itu saat sampling menggunakan alat tersebut dapat pula menghasilkan data kuantitatif (Crossman, Cairns, Kaesler, 1973). Data kuantitatif yang dimaksudkan adalah data hasil analisis terhadap jenis makrozoobentos sebagai bioindikator kualitas air sungai. Di Indonesia, selama ini pendekatan yang dilakukan pemerintah untuk melakukan penilaian dan pemantauan terhadap kualitas air sungai lebih mengandalkan pendekatan parameter fisika - kimia air, sedangkan pendekatan parameter biologinya terbatas pada parameter *Escherichia coli*, seperti tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 (Sudaryanti, 2003).

Di sisi lain, pengembangan penelitian di Indonesia tentang manfaat biomonitoring atau bioasesmen dengan makrozoobentos telah banyak dilakukan, walaupun penelitiannya bersifat aplikatif dari metode yang telah dikembangkan di daerah sub-tropik. Berdasarkan hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa metode yang dikembangkan di daerah sub-tropis dapat diterapkan juga di daerah tropis, seperti Indonesia.

Kecocokan hasil penelitian tersebut dibuktikan dari hubungan yang kuat antara parameter fisika-kimia air (Indeks Fisika-Kimia) dengan beberapa metode penilaian bioindikator makrozoobentos. Hal ini dapat dilihat dari angka koefisien korelasi (r) yang menunjukkan korelasi yang kuat hingga sangat kuat (Fowler and Cohen, 1995) antara indeks fisika-kimia air terhadap aplikasi metode DI (*Diversity Index*) dengan $r = 0,87$ (Bahri dan Priadie, 2006), $r = 0,88$ (Sari, 2008) dan $r = 0,79$ (Muntalif, Ratnawati, Bahri, 2008), aplikasi metode BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) dengan $r = 0,98$ (Bahri dan Priadie, 2006) dan $r = 0,97$ (Sari, 2008), aplikasi metode FBI (*Family Biotic Index*) dengan $r = 0,83$ (Pribadi dan Bahri, 2008) dan $r = 0,89$ (Muntalif, Ratnawati, Bahri, 2008), aplikasi metode LQI (*Lincoln Quality Index*) dengan nilai $r = 0,97$ (Ratnawati, Bahri, Priadie, 2009), aplikasi metode ASPT (*Average Score Per Taxon*) dengan $r = 0,95$ (Sari, 2008) dan $r = 0,81$ (Mardiah, 2009).

Namun demikian terdapat beberapa permasalahan yang muncul terkait dengan penelitian aplikatif tersebut, di antaranya adalah i). Berapakah perkiraan angka jumlah makrozoobentos, ketika sampling dari sungai menggunakan metode *kicking* (pengadukan dasar sungai dengan kaki), ii). Berapakah jumlah makrozoobentos hasil proses sub-sampling secara random untuk mendapatkan angka hitung tetap, sebelum diidentifikasi dan dihitung. Metode sub-sampling dengan angka hitung tetap merupakan suatu cara pengambilan sejumlah organisme secara random dengan angka tetap (Baker and Huggins, 2005). Proses sub-sampling adalah pengambilan sampel makrozoobentos dengan menggunakan suatu fraksi atau bagian dari sampel makrozoobentos yang diperoleh dari lapangan untuk diidentifikasi dan dihitung (Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership, 2007). Proses sub-sampling sangat penting karena dapat mereduksi biaya dan waktu yang berkaitan dengan proses penangan sampel (Barbour, 1999). Tujuan proses sub-sampling adalah untuk menyediakan suatu representasi yang tidak bias dari sampel yang besar (Barbour and Gerritsen, 1986 dalam Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership, 2007). Prosedur ini dikembangkan pertama kali oleh Hilsenhoff (1987) dan dimodifikasi oleh Plafkin *et al.* (1989) yang telah digunakan dalam Rapid Bioassessment Protocols (Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership, 2007). Kedua masalah tersebut sangat menentukan keberhasilan penelitian aplikatif di Indonesia terhadap metode-metode penilaian kualitas air sungai dengan menggunakan pendekatan bioindikator makrozoobentos. Dengan latar belakang permasalahan tersebut, penting kiranya

melakukan penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah

1. Mendapatkan perkiraan angka jumlah makrozoobentos ketika sampling dari sungai dengan metode *kicking*,
2. Mendapatkan angka hitung tetap hasil sub-sampling secara random untuk diidentifikasi dan dihitung, sehingga mendekati hasil berdasarkan metode sensus,
3. Mengetahui penyimpangan penilaian tingkat pencemaran air sungai, akibat kesalahan dalam penentuan besaran angka hitung tetap makrozoobentos hasil sub-sampling secara random terhadap hasil sensus.

Manfaat penelitian ini adalah menjadi acuan dalam memprediksi angka jumlah makrozoobentos yang diambil menggunakan alat Dip-net dari dasar sungai, baik area berbatu (*riffle*) maupun area tergenang (*pool*) dan acuan penggunaan AHT untuk proses sub-sampling secara random. Sungai yang dimaksud adalah sungai atau saluran dangkal yang memungkinkan pelaksanaan sampling, termasuk melakukan penyebebrangan di air (US-EPA, 2004). Demikian juga berdasarkan *Strahler Stream Order classification system* tipe sungainya adalah termasuk ordo ke-1 dan ke-2 (Barbour, *et al.*, 1999) atau orde ke-1 hingga ke-4 (US-EPA, 2004).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi i). Alat untuk pengambilan contoh makrozoobentos di sungai bagian berbatu (*riffle*) dan genangan (*pool*), yaitu Dip Net berbentuk segi empat berpori-pori sebesar 0,5 mm (APHA-AWWA-WEF, 2012), ii). Alat untuk proses sub-sampling dilakukan dengan menggunakan alat berupa kotak grid sub-sampler (Barbour and Gerritsen, 1996 dalam Baker and Huggins, 2005). Kotak grid sub-sampler yang digunakan mempunyai ukuran grid-nya 5 x 5 cm sebanyak 15 buah. Bahan penelitiannya adalah sedimen dasar sungai yang dipastikan terdapat banyak organisme makrozoobentosnya.

Bahan sedimen dasar sungai diperoleh dari dasar sungai dari Sungai Cikapundung (Babakan Siliwangi, Kota Bandung) dan Sungai Ciputrapinggan (Kabupaten Pangandaran).

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam teori sampling, setiap sampel yang diperoleh harus mencerminkan semua unsur dalam populasi secara proporsional. Sampel seperti itu dikatakan sampel tak bias (*unibased sample*) atau sampel yang representatif (Universitas Sebelas Maret, 2009). Sampel tidak bias adalah sampel yang ditarik berdasarkan probabilitas (*probability sampling*). Dalam sampel probabilitas, setiap unsur populasi mempunyai

nilai kemungkinan tertentu untuk dipilih. Karena sampel ini mengasumsikan kerandaman (*randomness*), maka sampel probabilitas lazim juga disebut sebagai sampel random sampling atau rancangan sampling (*sampling design*). Contoh rancangan sampling adalah rancangan sampling random sederhana.

1 Bioindikator Makrozoobentos untuk Penilaian Kualitas Air Sungai

Istilah umum pemantauan kualitas air adalah pemantauan terhadap parameter fisika dan kimia air, tetapi juga parameter biologinya, seperti halnya dalam pengertian biomonitoring (Rosenberg and Resh, 1993). Organisme makrozoobentos 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 yang telah lalu, seperti halnya keadaan lingkungan saat sampling (Rosenberg and Resh, 1993). Mikroorganisme air lainnya, seperti protozoa bersilia, alga atau bakteri perifiton, hanya merefleksikan kualitas air satu atau dua minggu sebelum aktivitas sampling and analisis dilakukan. Sebaliknya larva insekta, cacing-cacingan, keong-keongan, dan makrozoobentos 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 makrozoobentos (Welch and Lindell, 1992; Barbour *et al.*, 1999).

2 Metode Skoring BMWP (*Biological Monitoring Working Party*)

Di antara metode analisis biologi untuk mengetahui kualitas air pada badan air dan dampak efluen limbah cair dapat ditelaah berdasarkan jenis organisme makroinvertebrata benthik sebagai indikatornya (UNESCO-WHO-UNEP, 1992). Salah satu metode analisis tersebut adalah sistem skoring BMWP (*Biological Monitoring Working Party*). Kelebihan metode skoring BMWP di antaranya berdasarkan hasil penelitian perbandingan beberapa metode penilaian bioindikator makrozoobentos (Diversity Index, BMWP, FBI, LQI, ASPT) terhadap indeks fisika-kimia air, ternyata metode yang menunjukkan korelasi yang kuat hingga sangat kuat ($r = 0,97-0,98$) adalah metode skoring BMWP (Bahri dan Priadie, 2006; Sari, 2008). Sistem skoring BMWP ini dikenalkan sejak tahun 1980 untuk penilaian indeks kualitas air berdasarkan organisme makrozoobentos di England dan Wales (Hawkes,

1997). Pemberian skor tersebut ditetapkan berdasarkan taxa dari makrozoobentos dengan kategori sebagai the taxon's sensitivity to organic pollution. Penilaian makrozoobentos dilakukan dengan sistem skoring BMWP ditetapkan berdasarkan penilaian makrozoobentos pada tingkatan famili yang merepresentasikan organisme yang sensitif terhadap pencemaran organik (Lampiran 1) (Hawkes, 1997).

METODOLOGI

1 Desain dan Prosedur Percobaan

Desain eksperimen yang digunakan adalah desain acak sempurna dengan faktor perlakuannya adalah variasi ukuran sampel makrozoobentos (jumlah individu) terhadap jumlah genusnya. Prosedur percobaan diawali dengan proses pengacakan sampel terhadap unit-unit percobaan (individu makrozoobentos) tanpa ada batasan dengan cara mengocoknya sehingga dianggap homogen (Sudjana, 1994). Kemudian dilanjutkan dengan prosedur berikut ini i). menuliskan angka yang tertulis dalam tiap grid sub-sampler dengan secarik kertas, ii), kertas-kertas tersebut diundi, iii). Menulis urutan nomor sesuai hasil undian, iv). pengambilan sampel sesuai nomor undian, v). Sampel makrozoobentos diidentifikasi hingga genus dan dihitung, vi). Setelah jumlah individu makrozoobentos tercapai untuk tiap perlakuan, proses sub-sampling dihentikan.

2 Analisis Data Makrozoobentos

Penilaian data makrozoobentos dilakukan dengan dua tahap, yaitu 1). Analisis skoring makrozoobentos dikaitkan dengan tingkat pencemaran air menggunakan metode *Biological*

Biological Monitoring Working Party (BMWP).2). Analisis statistik menggunakan anova (*the analysis of varians*) klasifikasi satu-arah untuk menguji kesamaan beberapa nilai tengah secara sekaligus dari variasi data yang diperoleh (Walpole, 1990). Analisis makrozoobentos menggunakan skoring BMWP untuk satu sampel adalah jumlah masing-masing skor taksa (tingkatan famili) untuk sampel tersebut. Skor BMWP didasarkan atas adanya taksa dan tidak memperhatikan parameter jumlah dari taksa tersebut. Tabel 1 merupakan hubungan kriteria tingkat pencemaran air dengan skor BMWP sebagai hasil penjumlahan dari skor famili makrozoobentos masing-masing.

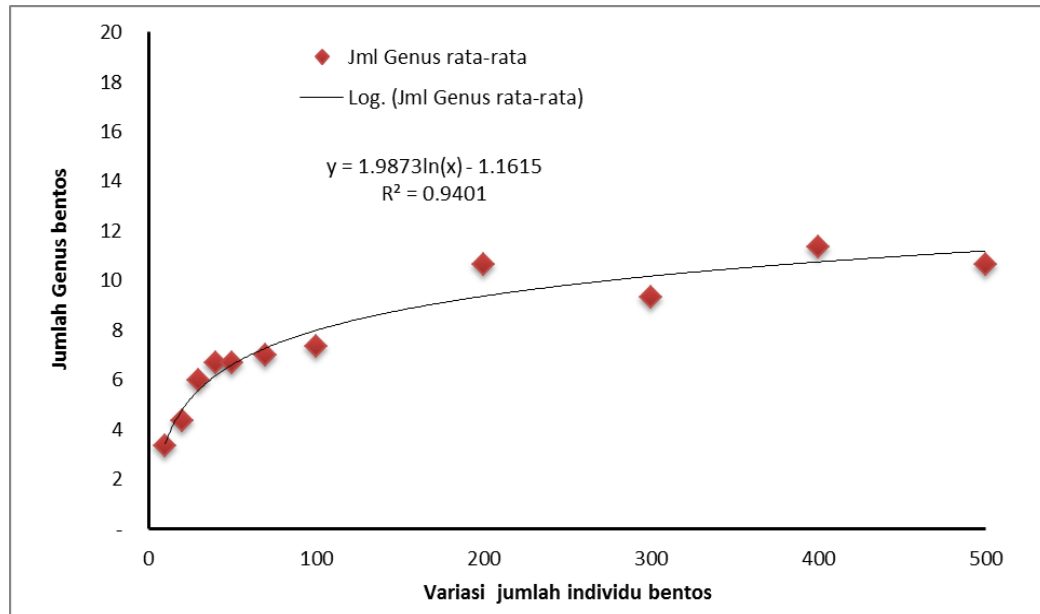
HASIL DAN PEMBAHASAN

Di awal penelitian ini, perencanaan saat pengambilan contoh makrozoobentos di sungai terkait dengan perkiraan jumlah organisme tersebut sangat menentukan keberhasilan. Jika organisme yang diambil dari sungai tersebut jumlahnya tidak memenuhi perkiraan minimal, maka indikator makrozoobentos terkait dengan kriteria kualitas airnya akan meleset pula. Seperti diketahui bahwa organisme makrozoobentos 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 and Resh, 1993).

Dalam penanganan di laboratorium terhadap contoh sedimen dasar sungai yang diperkirakan mengandung makrozoobentos, sebelum dilakukan identifikasi atau dideterminasi jenis dan jumlahnya, langkah yang dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama adalah penyortiran secara sensus, yaitu semua sampel sedimen dasar sungai yang diperkirakan mengandung makrozoobentos diamati secara detail dan dikoleksi semua makrozoobentosnya. Hal tersebut dapat dilakukan, apabila jumlah sampelnya sedikit atau tidak terlalu banyak, sehingga tidak menyita waktu yang lama. Lain halnya jika jumlah sampel tersebut sangat banyak, maka tentunya akan memakan waktu dan biaya. Alternatif yang dapat dilakukan adalah melakukan sub-sampling dari sampel yang telah diperoleh dari lapangan secara random. Alat untuk mendapatkan sampel random adalah kotak grid sub-sampler. Adapun kerandoman diperoleh dengan membuat rancangan acak sederhana dan sampel sedimen dasar tersebut dianggap sebagai populasi.

Tabel 1 Hubungan Antara Skor BMWP dengan Kriteria Kualitas Air Akibat Pencemaran Organik (Anglian Water Authority (1986) dalam Sharma and Moog, 2006)

No	Kelas	Skor BMWP	Kriteria Kualitas Air
1	I	>151	Tidak tercemar
2	I-II	101 - 150	Tercemar ringan
3	II	51 - 100	Tercemar sedang
4	II-III	26 - 50	Tercemar kritis
5	III	7 - 25	Tercemar berat
6	III-IV	1 - 6	Tercemar sangat berat
7	IV	0	Tercemar ekstrim



Gambar 1 Kurva Hubungan Variasi Jumlah Individu Makrozoobentos Hasil Sampling Acak dengan Jumlah Genus yang Ditemukan untuk Sampel dari Sungai Cikapundung, Kota Bandung

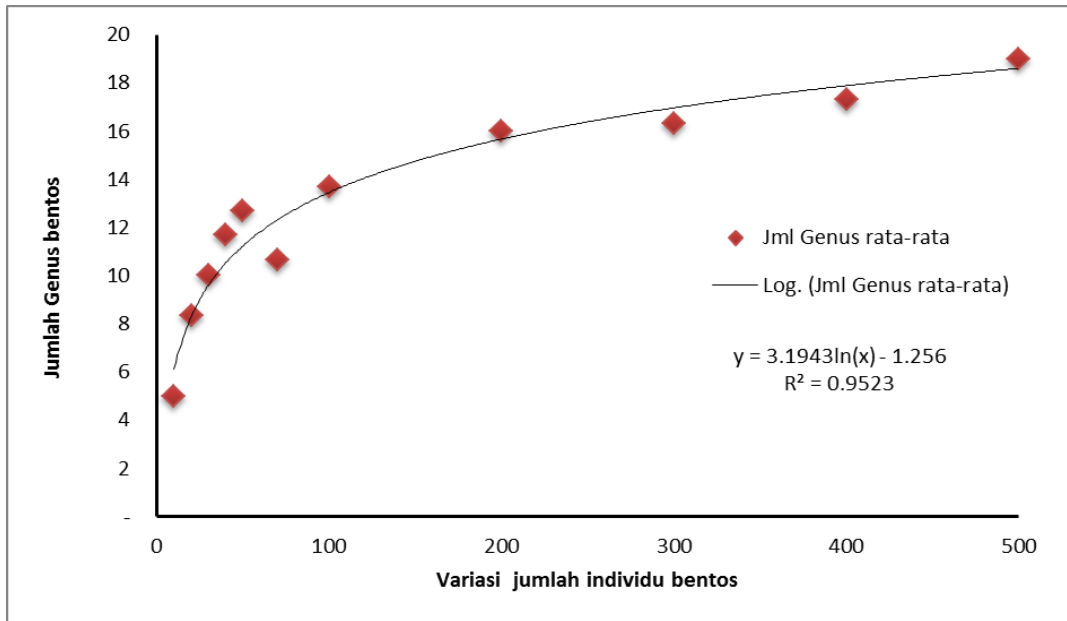
1 Analisis jumlah individu makrozoobentos terhadap jumlah genusnya

Langkah awal untuk menganalisis adanya hubungan antara jumlah individu makrozoobentos dan jumlah genusnya adalah melakukan uji coba proses sub-sampling secara random. Penetapan jumlah individu untuk proses sub-sampling makrozoobentos pada uji coba ini menggunakan variasi sebagai berikut 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 200, 300, 400, 500 individu. Proses sub-sampling secara random tersebut dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Dari uji coba terhadap dua contoh sedimen dasar sungai sebagai bahan percobaan ini, terlihat adanya hubungan antara parameter jumlah individu makrozoobentos hasil proses sub-sampling terhadap jumlah genusnya yang dihasilkan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa hubungan jumlah individu makrozoobentos terhadap jumlah genusnya mengikuti pola kurva logistik (Gambar 1 dan 2).

Pola logaritmik yang dihasilkan, seperti pada Gambar 1 dan 2 perlu dibuktikan, mengenai seberapa besar variabilitas faktor jumlah genus makrozoobentos dapat dijelaskan oleh faktor variasi jumlah individunya sehingga mengikuti kurva logaritmik. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji statistik menggunakan analisis kecenderungan (trend analysis) dari data tersebut. Dengan bantuan pemrograman dari Microsoft Exel, metode analisis kecenderungan terhadap data dari Sungai Cikapundung dan Sungai Ciputrapinggan menggunakan pendekatan analisis regresi logaritmik. Dari hasil analisis tersebut diperoleh

model persamaan regresi logaritmik untuk data dari Sungai Cikapundung adalah $Y = 1,9873 \ln(X) - 1,1615$ dan model persamaan regresi logaritmik untuk data Sungai Ciputrapinggan, $Y = 3,1943 \ln(X) - 1,256$.

Selanjutnya model persamaan regresi logaritmik perlu diuji signifikansinya menggunakan uji determinasi (r^2). Ukuran tersebut dapat menginformasikan seberapa dekatkah garis regresi yang terestimasi dengan data sesungguhnya. Nilai koefisien determinasi (r^2) ini menggambarkan besar variasi dari variabel terikat Y (jumlah genus makzoobentos) dapat diterangkan oleh variabel bebas X (angka jumlah individu makrozoobentos). Untuk nilai koefisien determinasi sama dengan 0 ($r^2 = 0$), artinya variasi dari Y tidak dapat diterangkan oleh X sama sekali, sebaliknya dengan nilai $r^2 = 1$, artinya variasi dari Y secara keseluruhan dapat diterangkan oleh X (semua titik pengamatan berada tepat pada kurva regresi logaritmik). Berdasarkan uji determinasi untuk model persamaan regresi logaritmik data Sungai Cikapundung ($Y = 1,9873 \ln(X) - 1,1615$), nilai koefisien determinasinya (r^2) = 0,9401 artinya sekitar 94,01 % jumlah genus makzoobentos dapat diterangkan oleh angka jumlah individu makrozoobentos. Hasil yang sama ditunjukkan pula oleh nilai koefisien nilai koefisien determinasinya (r^2) untuk menguji model persamaan regresi logaritmik data Sungai Ciputrapinggan ($Y = 3,1943 \ln(X) - 1,256$) sebesar 0,9523 yang artinya sekitar 95,23 % jumlah genus makzoobentos dapat diterangkan oleh angka jumlah individu makrozoobentos.



Gambar 2 Kurva Hubungan Variasi Jumlah Individu Makrozoobentos Hasil Sampling Acak dengan Jumlah Genus yang Ditemukan untuk Sampel dari Sungai Ciputrappingan, Kabupaten Pangandaran

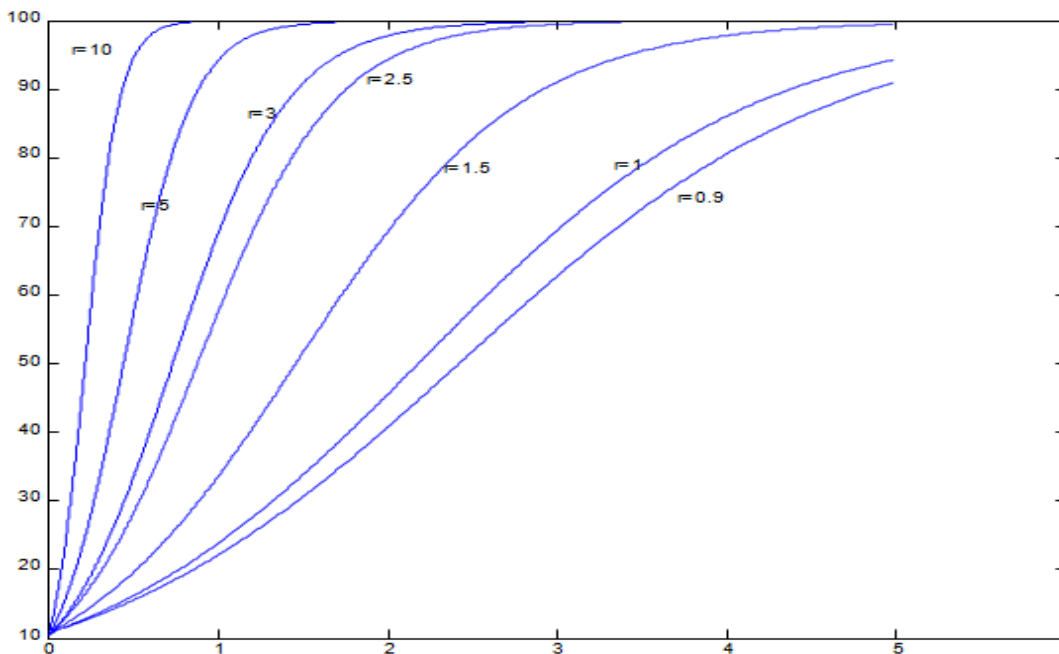
Kurva logistik seperti Gambar 1 dan 2 merupakan fungsi jumlah genus makrozoobentos (n) terhadap jumlah individu makrozoobentos (N). Dengan asumsi bahwa i) populasi jumlah individu makrozoobentos ini memiliki sifat dinamis dan tidak ada pemangsa (Tsoularis, 2001), ii). probabilitas suatu genus makrozoobentos (n) akan muncul dan menghasilkan konstanta tetap serta independen dari ukuran populasi (N). Dengan

demikian model sederhana untuk populasi dinamis tersebut untuk persamaan eksponensial pertumbuhannya dapat dituliskan sebagai berikut (Tsoularis, 2001):

$$\frac{dn}{dN} = rn \tag{1}$$

dan solusinya adalah

$$n(N) = n_0 e^{rN} \tag{2}$$



Gambar 3 Evolusi Ukuran Populasi dalam Waktu dari Verhulst logistic growth (1839)

Di mana r adalah laju pertumbuhan intrinsik yang menyatakan adanya laju pertumbuhan per individu. Selanjutnya untuk menjelaskan adanya pertumbuhan terbatas, Verhulst (1839) dalam Tsoularis (2001) mengasumsikan bahwa untuk suatu populasi stabil akan memiliki konsekuensi adanya karakteristik tingkatan saturasi atau kejenuhan. Karakteristik tersebut dinamakan daya dukung (*carrying capacity*), K . Persamaan logistik juga dapat menjelaskan model pertumbuhan fisik, di mana nilai K ini diinterpretasikan secara alami sebagai pembatas dimensi fisik. Pernyataan yang sama dari Pielou (1969) yang menyatakan bahwa suatu ketika pertumbuhan logistik akan dibatasi oleh keterbatasan lingkungannya yang akan membawa untuk tercapai suatu kondisi *saturated level* atau fase stasioner. Dengan demikian, jika ukuran populasinya lebih kecil dari nilai K , maka akan menghasilkan kurva logistik berbentuk sigmoid. Gambar 3 adalah contoh kurva sigmoid pertumbuhan logistik dari Verhulst, yang menggambarkan variasi nilai r dengan $N_0=10$, $K=100$. Dengan nilai r lebih besar dan waktu lebih cepat, maka kurva akan mencapai titik daya tampung, K (Tsoularis, 2001).

Dalam penelitian ini, fase stasioner tersebut adalah fase dimana angka jumlah genus makrozoobentos (n) telah mendekati eksistensi populasinya (N). Dengan semakin besar variasi jumlah individu makrozoobentos (N) yang disub-sampling secara acak, ternyata peluang jumlah genus makrozoobentosnya (n) pun semakin besar. Jika perlakuan tersebut dilanjutkan, maka akan diperoleh suatu kondisi yang stasioner, yang ditandai kecenderungan jumlah genus yang homogen. Homogenitas jumlah genus di dua sungai tersebut diduga mulai pada angka jumlah individu makrozoobentos (n) 200 (Gambar 1 dan 2).

2 Perbandingan hasil proses sub-sampling secara random dan sensus

Percobaan sub-sampling makrozoobentos ternyata mengikuti pola kurva logistik, sebagai fungsi jumlah genus makrozoobentos (n) terhadap jumlah individu makrozoobentos (N) dan mengasumsikan suatu fase stasioner dimulai dari angka jumlah individu makrozoobentos 200 individu. Hasil percobaan sub-sampling random tersebut harus dibandingkan dengan kontrolnya, yaitu hasil identifikasi jumlah genus makrozoobentos (n) berdasarkan pendekatan sensus (N). Angka jumlah genus makrozoobentos hasil sub-sampling random harus mendekati angka hasil sensus. Berdasarkan dua contoh sedimen dasar sungai tersebut hasilnya adalah sebagai berikut :

a. Contoh sedimen dasar dari Sungai Cikapundung, pada fase stasioner (nilai jumlah

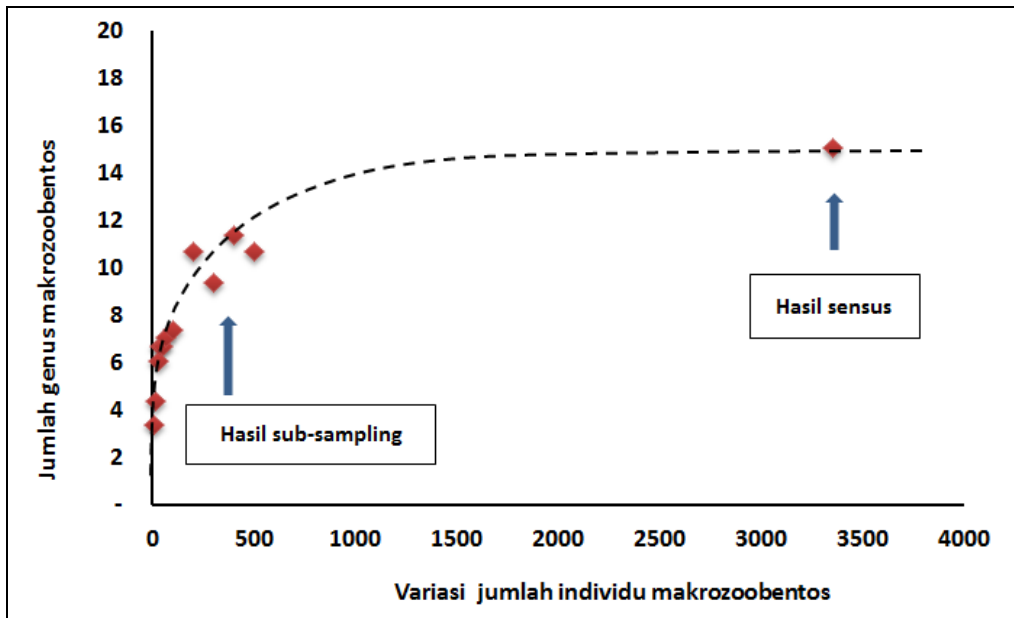
individu ≥ 200) nilai jumlah genus makrozoobentos hasil sub-sampling adalah antara 7-12, sedangkan hasil sensus sebesar 15 (Tabel 2) dan galat sampling sebesar 0,25 - 0,38 (Gambar 4).

b. Contoh sedimen dasar dari Sungai Ciputrapinggan, pada fase stasioner (nilai jumlah individu ≥ 200) nilai jumlah genus makrozoobentos hasil sub-sampling adalah antara 13-19, sedangkan hasil sensus sebesar 20 (Tabel 3), dengan galat sampling sebesar 0,05 - 0,2 (Gambar 5).

3 Kuantifikasi makrozoobentos secara random dan sensus dikaitkan dengan tingkat pencemaran air

Untuk membuktikan adanya hubungan antara hasil sampling random dan sensus, berkaitan jumlah genus makrozoobentos representatif, maka perlu dikaitkan dengan tingkatan kualitas airnya. Ini berarti sampel harus mencerminkan semua unsur dalam populasi secara proporsional. Sampel seperti itu dikatakan sampel tak bias (*unibased sample*) atau sampel yang representatif (Universitas Sebelas Maret, 2009). Sebagai unsur representatif dari sampel makrozoobentos yang menjadi patokan adalah penggunaan unsur genus yang menunjukkan indikator tingkat pencemaran air. Berdasarkan penilaian kriteria kualitas air menggunakan metode *biological monitoring working party* (BMWP), jumlah individu makrozoobentos minimal sebanyak 200 individu yang disub-sampling, ternyata penilaian yang sama ditunjukkan dari hasil sensus. Dengan jumlah individu makrozoobentos sebanyak 200 tersebut, kriteria kualitas air menurut metode BMWP menunjukkan hasil yang sama, yaitu tercemar kritis untuk sampel yang berasal dari Sungai Cikapundung (Tabel 2) dan tercemar sedang untuk sampel yang berasal dari Sungai Ciputrapinggan (Tabel 3).

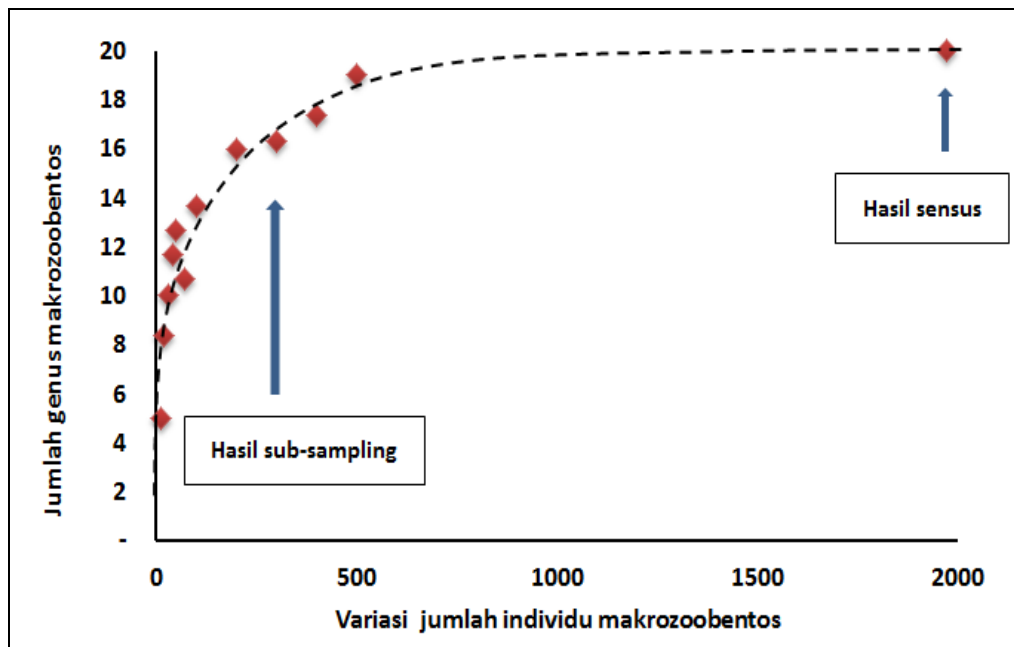
Penetapan jumlah individu makrozoobentos sebagai standar perlakuan sub-sampling secara random, bukan tanpa alasan yang jelas. Misalnya ketika menetapkan jumlah makrozoobentos untuk dianalisis ternyata di bawah jumlah 200 individu, maka penetapan kriteria kualitas air menjadi tidak tepat (bias). Berdasarkan percobaan sampling random, memperlihatkan bahwa bila menggunakan angka jumlah makrozoobentos untuk dianalisis di bawah jumlah 200 individu, maka penilaian terhadap kualitas air tersebut menyebabkan penurunan kelas kriteria kualitas air (Tabel 2 dan 3). Hal ini tentunya tidak boleh terjadi, karena akan menyebabkan kesalahan dalam rekomendasi lebih lanjut.



Keterangan :

----- Kurva hipotetik

Gambar 4 Kurva Perbandingan Variasi Jumlah Individu Makrozoobentos Hasil Sub-Sampling Acak dan Hasil Sensus terhadap Jumlah Genus yang Ditemukan untuk Sampel dari Sungai Cikapundung, Kota Bandung



Keterangan :

----- Kurva hipotetik

Gambar 5 Kurva Perbandingan Variasi Jumlah Individu Makrozoobentos Hasil Sub-Sampling Acak dan Hasil Sensus terhadap Jumlah Genus yang Ditemukan untuk Sampel dari Sungai Ciputrapinggan, Kabupaten Pangandaran

Tabel 2 Perbandingan Hasil Kuantifikasi Makrozoobentos Sub-Sampling Secara Random dan Sensus Dikaitkan dengan Tingkat Pencemaran Air Menurut Penilaian BMWP Terhadap Sampel dari Sungai Cikapundung, Bandung

Perlakuan	Jumlah Individu	Jumlah Genus Hasil Pengamatan			Nilai BMWP	Kriteria Kualitas air versi BMWP
		Ke-1	Ke-2	Ke-3		
Sub-sampling	10	3	4	3	12,33	Tercemar berat
	20	4	5	4	18,33	Tercemar berat
	30	7	6	5	22,33	Tercemar berat
	40	6	7	7	23,67	Tercemar berat
	50	7	6	7	24,67	Tercemar berat
	70	7	7	7	25,33	Tercemar berat
	100	8	6	8	25,33	Tercemar berat
	200	10	10	12	27,67	Tercemar kritis
	300	10	11	7	32,67	Tercemar kritis
	400	11	11	12	32,67	Tercemar kritis
500	9	13	10	32,00	Tercemar kritis	
Sensus	3358	15			36	Tercemar kritis

Tabel 3 Perbandingan Hasil Kuantifikasi makrozoobentos Sub-sampling Secara Random dan Sensus Dikaitkan dengan Tingkat Pencemaran Air Menurut Penilaian BMWP Terhadap Sampel dari Sungai Ciputrapinggan, Kabupaten Pangandaran

Perlakuan	Jumlah Individu	Jumlah Genus Hasil Pengamatan			Nilai BMWP	Kriteria Kualitas air versi BMWP
		Ke-1	Ke-2	Ke-3		
Sub-sampling	10	6	5	4	16,00	Tercemar berat
	20	9	6	8	28,00	Tercemar kritis
	30	10	10	10	40,00	Tercemar kritis
	40	10	10	12	45,00	Tercemar kritis
	50	12	12	13	51,33	Tercemar kritis
	70	9	10	12	43,70	Tercemar kritis
	100	12	14	12	53,00	Tercemar kritis
	200	16	15	13	57,00	Tercemar sedang
	300	14	18	14	58,67	Tercemar sedang
	400	16	17	14	60,33	Tercemar sedang
500	18	19	18	64,33	Tercemar sedang	
Sensus	3358	20			65	Tercemar sedang

Selanjutnya untuk menguji variasi hasil sub-sampling makrozoobentos dikaitkan dengan kriteria kualitas air (Tabel 2 dan 3), dilakukan uji statistik anova klasifikasi satu-arah menggunakan distribusi F dengan tingkat kepercayaan 99 %. Dari uji statistik tersebut akan diperoleh suatu gambaran variasi data kehomogenan atau keheterogenannya berdasarkan kesamaan beberapa nilai tengahnya (Walpole, 1990). Dengan

menguji semua taraf variasi ukuran sub-sampling dari Tabel 2 dan Tabel 3, hasil anovanya menunjukkan nilai F hitung lebih besar dari nilai kritis daftar F. Hasil perhitungan data Tabel 2 adalah F hitung = 25,81 dan F tabel (10,22) = 3,26, sedangkan hasil perhitungan data Tabel 3 adalah F hitung = 16,35 dan F tabel (10,22) = 3,26). Dengan demikian variasi hasil uji sub-sampling taraf 10 sd 500 individu terdapat nilai rata-rata yang berbeda

atau heterogen, seperti halnya yang ditunjukkan nilai BMWP atau kriteria kualitas airnya.

Untuk membuktikan adanya kesamaan nilai tengah dari data yang diduga homogen (memiliki kriteria kualitas air yang sama), selanjutnya dilakukan uji anovanya lagi, terutama data variasi hasil uji sub-sampling antara taraf 200 sd 500 individu yang memiliki kriteria yang sama dengan hasil sensus. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa, baik data Tabel 2 dan Tabel 3, hasil anovanya menunjukkan nilai F hitung lebih kecil dari nilai kritis daftar F. Hasil perhitungan data Tabel 2 adalah F hitung = 3,01 dan F tabel (3,8) = 7,59, sedangkan hasil perhitungan data Tabel 3 adalah F hitung = 0,82 dan F tabel (3,8) = 7,59). Dengan demikian variasi hasil uji sub-sampling taraf 200 sd 500 individu memiliki nilai rata-rata yang homogen dan nilai ini dapat mewakili hasil sensus.

Di beberapa Negara, penetapan angka hitung tetap makrozoobentos minimal sebagai standar perlakuan sub-sampling secara random sebagai bahan untuk diidentifikasi dan hitung berbeda-beda. Di Amerika Serikat dengan mengacu ke *Methods of Analysis by the U.S. Geological Survey National Water Quality Laboratory*, menetapkan bahwa jumlah individu makrozoobentos untuk disub-sampling secara random sebagai angka hitung tetap sebanyak 100 – 300 individu (Moulton II et al., 2000). Peneliti lain menetapkan bahwa untuk menilai kesehatan suatu sungai lebih baik menggunakan jumlah makrozoobentos sebagai angka hitung tetap sebanyak 300 individu, karena dapat memberikan informasi tentang karakteristik sungai yang tepat (Rai, 2005). Di Negara Thailand penetapan jumlah individu untuk panduan bioassessmen menggunakan makrozoobentos sebagai angka hitung tetap sebesar 300 individu (Boonsoong, Sangpradub, Barbour, 2009). Lebih dari setengah negara bagian di United State, program bioasesmen menggunakan angka hitung tetap 100 individu (Carter and Resh, 2001 dalam *Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership*, 2007). Pada umumnya institusi di Pacific Northwest (USA) menggunakan jumlah 300 – 500 individu sub-sampel, sebagai suatu keseimbangan maksimal tentang informasi yang diperoleh dari suatu sampel, sedangkan jumlah yang direkomendasikan adalah 300 individu (*Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership*, 2007). Namun jika data untuk analisis suatu pemodelan prediksi, seperti River Invertebrate Prediction and Classification System (RIPACS), maka jumlah 350 individu atau lebih yang direkomendasikan (Ostermiller and

Howkins, 2004 dalam *Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership*, 2007)

KESIMPULAN

Prakiraan angka jumlah makrozoobentos representatif yang diambil dari sungai dengan teknik diaduk-aduk dengan kaki (*kicking technique*) diharapkan lebih dari 500 individu;

Jumlah organisme makrozoobentos sebagai angka hitung tetap untuk proses sub-sampling secara random direkomendasikan berkisar antara 200 - 500 individu;

Jika penetapan angka hitung tetapnya untuk sub-sampling angkanya random di bawah 200 individu, maka akan terjadi penurunan penilaian terhadap kelas kriteria kualitas air.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA-AWWA-WEF. 2012. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 22nd edition, E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, L.S. Clesceri (editors), American Public Health Association 800 I Street, NW Washington, DC.
- Bahri, S. dan Priadie, B. 2006. Korelasi Tiga Metrik Benthik Makroinvertebrata dan Indeks Kimia-Fisika dalam Memprediksi Tingkat Pencemaran Air Sungai (Studi Kasus Sungai Cikapundung). *Jurnal Sumber Daya Air, Vol. 2 No. 2, Mei 2006*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- Baker, D.S. and Huggins, D.G. 2005. *Sub-sampling Techniques for Macroinvertebrates, Fish and Benthic Algae Sampled in Biological Monitoring of Streams and Rivers*. Report No. 132 of the Kansas Biological Survey, October 2005, By the Central Plains Center for BioAssessment, University of Kansas, Takeru Higuchi Building, 2101 Constant Avenue, Room 35, Lawrence, KS 66047-3759 www.cpcb.ku.edu, Prepared in fulfillment of USEPA Award X7-99790401.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., Stribling, J.B. 1999. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Stream and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. 2nd Edition. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 1999. Document No. 841-B-99-002.

- Boonsoong, B., Sangpradub, N., Barbour, M.T. 2009. *Development of rapid bioassessment approaches using benthic macroinvertebrates for Thai streams*. Environment Monitoring Assesment. Published online: 17 July 2008 © Springer Science + Business Media B.V. 2008.
- Crossman, J.S., Cairns Jr., J., Kaesler, R.L. 1973. Aquatic Invertebrate Recovery in The Clinch River Following Hazardous Spills and Floods. *Virginia Water Resources Reserarch Center, Bulletin 63*. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blackburg, Virginia.
- Fowle, J. and Cohen, L. 1995. *Practical Statistics for Filed Biology*. John Wiley & Sons. Chichester-New York- Brisbane-Toronto-Singapore.
- Hawkes, A.H. 1997. *Origin and Development of the Biological Monitoring Working Party (BMWP) Score System*. Water Research. 32 (3), 964-968.
- Mardiah, M. 2009. *Metrik Makrobentos dalam Analisis Kualitas Air Sungai Cikapundung (Skripsi)*. Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan Matematika dan IPA. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Moulton II, S.R., Carter, J.L., Grotheer, S.A., Cuffney, T.F., and Short, T.M. 2000. *Methods of analysis by the U.S. Geological Survey National Water Quality Laboratory— Processing, taxonomy, and quality control of benthic macroinvertebrate samples: U.S. G. S. Open-File Report 00-212*.
- Muntalif, B.S., Ratnawati, K., Bahri, S.. 2008. Bioassessment Menggunakan Makroinvertebrata Bentik untuk Penentuan Kualitas Air Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Purifikasi, Vol 9 No.1, Juli 2008*. Divisi jurnal purifikasi jurusan teknik lingkungan FTSP-ITS.
- OHIO Environmental Protection Agency. 2013. *Biological Criteria for The Protection of Aquatic Life : Standardized Biological Field Sampling and Laboratory Methods for Assessing Fish and Macroinvertebrates Communities (Vol III) updates*. Ohio Environmental Protection Agency, Division Ecological Assessment Section. February 21, 2013. Columbus.
- Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership. 2007. *Methods for The Collection and Analysis of Benthic Macroinvertebrates Assemblages in Wadeable Streams of The Pacific Northwest*. Hayslips and Gretchen (Editors). Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership (PNAMP), May 31. 2007. Cook, Washington.
- Pielou, E.C. 1969. *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience, Division of John Wiley & Sons, New York-London-Sydney-Toronto.
- Pribadi, T.D.K. dan Bahri, S. 2008. Kajian Kualitas Air Sungai Menggunakan Organisme Makrobenthos dengan Metode Family Biotic Index. *Jurnal Sumber Daya Air, Vol. 4 No. 1, Mei 2008*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Litbang Dep. Pekerjaan Umum.
- Rai, U.K. 2005. *The Effect of Sample Size on Rapid Bioassessment Scores and Managemen Eficiency. (Thesis)*. The College of Science, Columbus State University, USA.
- Ratnawati, K., Bahri, S., Priadie, B. 2009. Bioasesesment Kualitas Air Sungai Citarum Menggunakan Makrozoobentos dengan Metode Lincoln Quality Index. *Buletin Keairan, Vol. 2 No. 1, Juni 2009*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- Resh, V.H. and J.K. Jackson, J.K. 1993. *Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates*. in D.M. Rosenberg and V.H. Resh (editors) Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates, Chapman and Hall, New York.
- Rosenberg, D.M. and Resh, V.H. 1993. *Introduction to Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. in D.M. Rosenberg and V.H. Resh (editors), Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates, Chapman and Hall, New York.
- Sari, E.K. 2008. *Kajian Penilaian Kualitas Air Menggunakan Makroinvertebrata Bentik di Sungai Citarum Hulu, Kabupaten Bandung (Skripsi)*. Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Padjadjaran. Bandung.

- Sharma, S. and Moog, O. 2006. *The Use of Biotic Index and Score Methods in Biological Water Quality Assessment of The Nepalese Rivers*. www.geocities.com/sharmaku/6.htm, akses tanggal 21 Maret 2006.
- Sudaryanti, S. 2003. Refleksi Pemberdayaan Penilaian Bioassessment untuk Penilaian Kualitas Air Sungai. *Jurnal Penelitian Perikanan, Volume 6 Nomor 11, Tahun 2003*. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya Malang.
- Sujana. 1994. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Penerbit Tarsito, Bandung.
- Tsoularis, A. 2001. *Analysis of Logistic Growth Models*. Res. Lett. Inf. Math. Sci, (2001) 2. 23-46 Available online at www.massey.ac.nz/wwiims/rlims.
- UNESCO-WHO-UNEP. 1992. *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition*, Alamat http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/wqassess/ch10.htm Akses internet tanggal 14 Feb 2006.
- United States Environmental Protection Agency. 2004. *Wadable Stream assessment Site Evaluation Guidelines*. (final) Office of Water Office of Environmental information Washington, DC EPA841-B-04-006, July 2004.
- Universitas Sebelas Maret 2009. Teknik Penarikan Sampel. www.uns.ac.id/data/0019a.pdf, 23 Juni 2009.
- Walpole, R.E. 1990. Pengantar Statistika (terjemahan), B. Sumantri (penerjemah), eds ke-3, Penerbit PT Gramedia, Jakarta.
- Welch, E.B. and Lindell, T. 1992. *Ecological Effect of Wastewater: applied limnology and pollutant effects*. E & FN Spon. London-Glasgow-New York-Tokyo-Melbourne-Madras.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Allah SWT yang telah memberikan kasih sayang kepada hamba-Nya. Kepada saudari Shinta Herlianty dan Annisa Kanestri Ratnapuri dari Universitas Pendidikan Indonesia yang telah membantu dalam pelaksanaan uji coba di laboratorium. Bapak Drs. Syamsu Rizal, ME yang telah memberikan bimbingan dalam analisis statistiknya, sehingga penelitian ini dapat berjalan lancar.

LAMPIRAN 1 Skor BMWP untuk Tiap Famili Makrozoobentos

No	Nama Umum Makrozoobentos	Famili	Skor BMWP
1	Cacing pipih (<i>flatworm</i>)	Planariidae	5
		Dendrocoeidae	5
2	Keong-keongan (<i>Snail</i>)	Neritidae	6
		Viviparidae	6
		Valvatidae	3
		Hydrobiidae	3
		Lymnaeidae	3
		Physidae	3
		Planorbidae	3
3	<i>Limpet dan Mussel</i>	Ancydae	6
		Unionidae	6
		Sphareiididae	3
4	Cacing (<i>Worm</i>)	Oligochaeta	1
5	Lintah (<i>Leeches</i>)	Piscicolidae	4
		Glossiphoniidae	3
		Hirudidae	3
		Erpobdellidae	3
6	Udang-udangan (Crustaceans)	Aselidae	3
		Corophiidae	6
		Gammariidae	6
		Astacidae	8
7	<i>Mayflies</i>	Siphonuridae	10
		Baetidae	4
		Heptageniidae	10
		Leptophlebiidae	10
		Ephemerellidae	10
		Pothamanthidae	10
		Ephemeridae	10
Caenidae	7		
8	<i>Stoneflies</i>	Taeniopterygidae	10
		Nemouridae	7
		Leutridae	10
		Capniidae	10
		Perlodidae	10
		Perlidae	10
9	<i>Damselflies</i>	Platicnemidae	6
		Coenagriidae	6
		Lestidae	8
		Calopterygidae	8
10	<i>Dragonflies</i>	Gomphidae	8
		Coedulegastridae	8
		Aeshinidae	8
		Coduliidae	8
		Libellulidae	8

Skor BMWP untuk Tiap Famili Makrozoobentos (Lanjutan)

No	Nama Umum Makrozoobentos	Famili	Skor BMWP
11	<i>Bugs</i>	Mesoveliidae	5
		Hydrometridae	5
		Gerridae	5
		Nepidae	5
		Naucoridae	5
		Aphelocheiridae	10
		Notonectidae	5
		Pleidae	5
		Corixidae	5
12	<i>Beetles</i>	Haliplidae	5
		Hygrobiiidae	5
		Dystiscidae	5
		Hydrophilidae	5
		Clambidae	5
		Scirtidae	5
		Dryopidae	5
		Elmidae	5
		Chrysomelidae	5
		Curculionidae	5
13	<i>Alderflies</i>	Sialidae	4
14	<i>Caddisflies</i>	Rhyacophilidae	7
		Philopotamidae	8
		Polycentropidae	7
		Psychomyiidae	8
		Hydropsychidae	5
		Hydroptilidae	6
		Phyganeidae	10
		Limnephilidae	7
		Molannidae	10
		Beraeidae	10
		Odontoceridae	10
		Leptoceridae	10
		Goeridae	10
		Lepidostomatidae	10
Brachycentridae	10		
Sericostomatidae	10		
15	<i>True flies</i>	Tipulidae	5
		Chironomidae	2
		Simuliidae	5