

## **PENGEMBANGAN METODE BIOASESMEN UNTUK PENILAIAN KUALITAS AIR SUNGAI CIHAMPELAS DI DAS CITARUM**

### **DEVELOPMENT OF BIOASSESSMENT METHODE FOR WATER QUALITY ASSESSMENT OF CIHAMPELAS STREAM IN THE CITARUM RIVER BASIN**

**Aiman Ibrahim<sup>1)</sup> dan Achmad Sjarmidi<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Magister Biologi Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati Institut Teknologi Bandung  
Jl. Tamansari no. 64 Bandung 40116 Jawa Barat, Indonesia  
E-Mail: ibrahimaiman2105@gmail.com

#### **ABSTRAK**

*Sungai Cihampelas merupakan anak sungai Citarum yang mengalir melintasi wilayah Kabupaten dan Kota Bandung sepanjang 8,5 km. Perairan Sungai Cihampelas dimanfaatkan masyarakat untuk kegiatan domestik, pariwisata, pertanian, dan perikanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air dengan menggunakan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dan Diatom Perifiton dan mengetahui korelasinya dengan Indeks Pencemaran (kelas air). Penelitian dilakukan di empat stasiun Sungai Cihampelas yang mewakili daerah yang minim gangguan hingga daerah yang diprediksi mengalami gangguan diantaranya Cilengkrang, Cisurupan, Pasanggrahan, dan Mekarmulya. Pencuplikan air, makrozoobentos, dan diatom perifiton dilakukan pada bulan Juli hingga September 2016 sebanyak empat kali dengan interval waktu dua minggu. Penilaian kualitas air dengan menggunakan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos menunjukkan bahwa Sungai Cihampelas memiliki kategori sangat baik hingga buruk dengan nilai indeks berkisar antara 4–18. Kualitas air Sungai Cihampelas menunjukkan kategori sangat baik hingga buruk berdasarkan nilai Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton yang berkisar antara 3–15. Berdasarkan Indeks Pencemaran, sepanjang aliran sungai Cihampelas telah memenuhi baku mutu air kelas I hingga melebihi baku mutu air kelas IV. Hasil analisis korelasi Spearman menunjukkan bahwa Indeks Pencemaran (kelas air) memiliki korelasi negatif dan lebih kuat terhadap Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dibandingkan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton.*

**Kata kunci:** Bioasesmen, kualitas air, makrozoobentos, diatom perifiton

#### **ABSTRACT**

*Cihampelas Stream is a tributary of the Citarum that flows across the Regency and Bandung area along 8,5 km. Cihampelas Stream are utilized by the community for domestic activities, tourism, agriculture, and fisheries. This study aims to determine the water quality based on Macrozoobenthos Index of Biotic Integrity and Periphytic Diatom Index of Biotic Integrity and its correlation with the Pollution Index (water classes). This research was conducted at four Cihampelas Stream stations representing the minimal areas of disturbance to the predicted areas of disturbance such as Cilengkrang, Cisurupan, Pasanggrahan, and Mekarmulya. Water sampling, macrozoobenthos, and periphytic diatom was conducted from July to September 2016 four times at two-week intervals. Assessment of water quality using Macrozoobenthos Index of Biotic Integrity shows that Cihampelas Stream is categorized from very good to bad category with index value ranging from 4–18. The water quality of the Cihampelas Stream shows very good to bad category based on the value of the Periphytic Diatom Index of Biotic Integrity which ranges from 3–15. Based on Pollution Index, along Cihampelas Stream is fulfilled class I to exceed class IV of water quality standard. Spearman correlation analysis results shows that Pollution Index (water classes) has negative correlation and stronger to Macrozoobenthos Index of Biotic Integrity compared to Periphytic Diatom Index of Biotic Integrity.*

**Keywords:** Bioassessment, water quality, macrozoobenthos, periphytic diatom

## PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang menunjang kehidupan orang banyak. Kebutuhan akan air bersih dari tahun ke tahun semakin meningkat, sedangkan pasokan air baku untuk air bersih semakin menurun kuantitas dan kualitasnya. Air baku merupakan bagian dari sumberdaya alam sekaligus bagian dari ekosistem perlu dilindungi agar tetap dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia serta makhluk hidup lainnya. Pemanfaatan air untuk berbagai kepentingan harus dilakukan secara bijaksana dengan memperhitungkan kepentingan generasi sekarang dan mendatang. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air sangat diperlukan agar ketersediaan air bagi semua makhluk hidup dapat terpenuhi secara terus menerus (Yudo, 2010).

Penilaian kualitas air dapat dilakukan dengan pengukuran secara fisika, kimia, dan biologi. Hasil penilaian kualitas air secara fisika dan kimia hanya menunjukkan kondisi badan air sesaat dan tidak merepresentasikan fluktuasi kondisi lingkungan yang menentukan kehadiran organisme air (Kupe dkk., 2008). Menurut Sudaryanti (2003), pendekatan penilaian kualitas air sungai di Indonesia lebih mengandalkan penilaian fisika kimia air, sedangkan penilaian biologi terbatas pada parameter *Escherichia Coli*, seperti tercantum pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Boonsoong dkk. (2009) menyatakan bahwa pengukuran bakteri coliform hanya melengkapi pengukuran kimia air dan tidak dapat merefleksikan tekanan kumulatif.

Bioasesmen merupakan penggunaan data biosurvei yang mengandung informasi tentang kesehatan air di suatu wilayah. Biosurvei dapat dilakukan dengan pengukuran kehadiran, kondisi, jumlah, dan tipe ikan, makrozoobentos, amfibi, alga, atau tumbuhan (Rashleigh dkk., 2013). Biota akuatik merupakan komponen penting bioasesmen dalam rangka mengevaluasi kualitas badan air secara keseluruhan, fungsi ekologi, dan pengaruh spesifik akibat aktivitas antropogenik (Muntalif dkk., 2015). Menurut Mayaningtias (2010), kehidupan akuatik menyatukan efek kumulatif dari berbagai tekanan lingkungan di badan perairan sehingga komunitas biologi dapat memberikan respon sepanjang waktu dan menyediakan informasi yang tidak disediakan oleh pengukuran fisika kimia yang dapat berubah secara cepat.

Komponen biologi seperti ikan, makrozoobentos, dan perifiton telah secara luas digunakan sebagai indikator biologi guna

mengetahui adanya stres atau gangguan yang ditimbulkan oleh perubahan fisik dan kimia xenobiotik di perairan (Barbour dkk., 1999). Makrozoobentos merupakan salah satu organisme akuatik yang baik digunakan untuk menilai kualitas air karena habitat hidupnya di sekitar sedimen, terpapar langsung dengan cemaran, dan bersifat menetap (Gitarama dkk., 2016). Sebagian besar makrozoobentos memiliki kisaran respon yang luas terhadap tekanan lingkungan seperti pencemaran organik, sedimen, dan toksikan (Kani dan Murugesan, 2014). Selain itu, makrozoobentos mudah dicuplik dan dikoleksi (Muralidharan dkk., 2010).

Selain makrozoobentos, diatom perifiton dapat digunakan untuk menilai atau mengevaluasi kondisi kesehatan sungai. Penggunaan diatom perifiton dalam menilai kualitas air memiliki keuntungan karena siklus hidupnya yang lebih pendek dibandingkan makrozoobentos sehingga dapat merespon perubahan lingkungan dengan cepat (Zalack dkk., 2010). Diatom perifiton merupakan produsen primer dalam rantai makanan akuatik yang dipengaruhi secara langsung oleh parameter fisika kimia perairan. Selain itu, diatom perifiton sensitif terhadap gangguan atau perubahan kondisi lingkungan yang mungkin tidak tampak pengaruhnya pada organisme lain atau hanya dapat mempengaruhi organisme lain pada tingkat gangguan yang lebih tinggi (Barbour dkk., 1999).

Sebagian besar perkembangan bioasesmen masih didominasi oleh indeks tunggal dalam menggambarkan tingkat gangguan ekologi di ekosistem perairan. Beberapa dekade terakhir mulai dilakukan penggabungan lebih dari satu indeks atau metrik yang dirangkum menjadi suatu indeks tunggal yang dikenal dengan indeks multimetrik (Sudarso dan Wardiatno, 2015). Indeks multimetrik berpotensi lebih baik dibandingkan metrik tunggal karena mampu mengintegrasikan data biologi dan merefleksikan kondisi perairan secara lebih komprehensif (Lacouture, 2006; Tang, 2006).

Indeks Integritas Biotik merupakan salah satu bentuk indeks multimetrik yang mulai dikembangkan pada ikan oleh Karr (1981). Pengembangan Indeks Integritas Biotik pada diatom telah dilakukan pada dekade lalu bersama dengan makrozoobentos dalam program bioasesmen di Amerika Serikat (Stancheva dan Sheath, 2016). Adapun pengembangan Indeks Integritas Biotik di Indonesia belum banyak dilakukan (Hadi, 2012).

Sungai Cihampelas merupakan sungai di daerah Jawa Barat yang dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sumber air untuk menunjang kehidupannya seperti aktivitas domestik, pariwisata, pertanian, dan perikanan. Aktivitas antropogenik di sepanjang aliran Sungai Cihampelas tersebut berpotensi menurunkan kualitas air sungai sehingga tidak sesuai dengan peruntukannya. Penurunan kualitas air tersebut dapat menimbulkan pengaruh terhadap organisme akuatik terutama organisme yang hidupnya relatif menetap seperti makrozoobentos dan diatom perifiton. Penelitian yang dilakukan di beberapa bagian Sungai Cihampelas dapat bermanfaat untuk pengembangan program bioasesmen ekosistem sungai sebagai sistem peringatan dini sehingga dapat meningkatkan upaya perlindungan dan pengelolaannya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air dengan menggunakan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dan Diatom Perifiton dan mengetahui korelasinya dengan Indeks Pencemaran (kelas air).

## TINJAUAN PUSTAKA

### 1 Bioasesmen

Bioasesmen adalah penilaian status ekosistem sungai melalui pemantauan perubahan biota akuatik yang berhubungan dengan gangguan antropogenik (Jun dkk., 2012). Penggunaan bioasesmen dalam menjaga dan memelihara air permukaan yang sehat didorong oleh kerangka peraturan seperti *Clean Water Act* (CWA) di Amerika Serikat (Barbour dkk., 2000). Cretaz dan Barten (2007) menyatakan bahwa bioasesmen di ekosistem sungai biasanya dilakukan atas tiga asumsi dasar yaitu :

- 1 Habitat sungai yang belum mengalami gangguan memiliki karakteristik komunitas biotik tertentu.
- 2 Komunitas biotik pada habitat sungai yang telah mengalami gangguan oleh aktivitas manusia akan berbeda dengan sungai yang belum mengalami gangguan.
- 3 Beberapa spesies akuatik dapat relatif rentan terhadap gangguan perubahan yang disebabkan aktivitas antropogenik.

Bioasesmen secara umum digunakan sebagai alat evaluasi pengaruh aktivitas manusia terhadap sumber daya perairan (Fore dkk., 1993). Aktivitas tersebut berpotensi menurunkan integritas biotik di ekosistem perairan. Integritas biotik merupakan kemampuan untuk mendukung dan memelihara keseimbangan, penggabungan,

komunitas yang adaptif dari organisme yang terdiri dari komposisi spesies, keragaman, dan organisme fungsional yang dapat dibandingkan dengan habitat alami suatu wilayah (Karr dan Dudley, 1981). Sungai yang memiliki kemampuan integritas biotik yang tinggi mampu merefleksikan rendahnya tingkat gangguan oleh aktivitas antropogenik atau dikategorikan kondisi sungai yang sehat (Angermeier dan Karr, 1994).

Sebagian besar perkembangan bioasesmen masih didominasi oleh indeks tunggal dalam menggambarkan tingkat gangguan ekologi di ekosistem perairan. Beberapa dekade terakhir mulai dilakukan penggabungan lebih dari satu indeks atau metrik yang dirangkum menjadi suatu indeks tunggal yang dikenal dengan indeks multimetrik (Sudarso dan Wardiatno, 2015). Indeks multimetrik meningkat dalam penggunaannya untuk menilai status ekologi sungai karena lebih kuat dibandingkan metrik tunggal, mampu mengintegrasikan data biologi, dan merefleksikan kondisi perairan secara lebih komprehensif (Lacouture, 2006; Tang, 2006).

Indeks Integritas Biotik merupakan salah satu bentuk indeks multimetrik yang dapat dikembangkan pada ikan, perifiton, dan makrozoobentos (Perera dkk., 2012). Indeks ini pertama kali dikembangkan oleh Karr (1981) untuk mengkuantifikasi karakteristik komunitas ikan di sungai. Indeks ini biasanya mengandung metrik struktural seperti indeks diversitas, kelimpahan spesies relatif, spesies sensitif atau kelompok fungsional yang dapat merespon gangguan antropogenik (Barbour dkk., 1999). Aplikasi Indeks Integritas Biotik di suatu wilayah sering melibatkan substitusi atau modifikasi metrik dengan tetap mempertahankan struktur orisinal indeks. Pendekatan tersebut mengintegrasikan dasar ekologis indeks dengan metode empiris untuk pemilihan metrik yang secara akurat mengkarakterisasi gangguan di dalam area studi (Whittier dkk., 2007).

### 2 Makrozoobentos

Makrozoobentos merupakan sekelompok hewan tanpa ruas tulang belakang yang tertahan pada saringan yang berpori 500  $\mu\text{m}$ . Makrozoobentos di ekosistem lotik terdiri dari beberapa filum diantaranya Arthropoda (insekta, tungau, udang karang), Mollusca (siput, limpet, kerang, dan tiram), Annelida (cacing bersegmen and lintah), Nematoda, dan Turbellaria. Makrozoobentos dapat hidup atau berasosiasi dengan dasar saluran air (batuan atau sedimen) atau permukaan lain yang relatif stabil (akar atau

batang tumbuhan air) (Hauer dan Resh, 2006). Muralidharan dkk. (2010), menyatakan bahwa makrozoobentos sangat baik digunakan sebagai bioindikator dalam menilai kualitas lingkungan perairan karena memiliki kelebihan diantaranya:

- 1 Memiliki pola migrasi terbatas atau hidup sesil.
- 2 Memiliki kisaran toleransi yang luas terhadap pencemaran.
- 3 Memiliki masa hidup yang panjang mulai mingguan hingga tahunan yang mengindikasikan kualitas air sepanjang waktu.
- 4 Mudah dicuplik dan dikoleksi.
- 5 Dapat ditemukan di berbagai tipe habitat akuatik.

### 3 Diatom Perifiton

Perifiton yaitu komunitas mikroflora yang hidup menempel pada permukaan benda yang terendam dalam air. Komunitas perifiton umumnya terdiri dari jenis diatom (Bacillariophyceae), Cyanophyceae, dan Chlorophyceae (Azim, 2010). Diatom (Bacillariophyceae) merupakan bagian utama perifiton yang memiliki dinding sel bersilika (Bere dan Tundisi, 2010). Diatom dapat ditemukan di hampir semua habitat akuatik, relatif beragam dan mudah dibedakan berdasarkan karakter morfologi dibandingkan alga dan invertebrata lainnya (Stevenson dkk., 2010). Schneider dkk. (2012) menyatakan bahwa diatom perifiton lebih sensitif terhadap variasi lingkungan dibandingkan makrofit dan alga bentik lainnya. Diatom perifiton dapat digunakan dalam bioasesmen karena memiliki kelebihan diantaranya:

- 1 Diatom memiliki waktu generasi yang lebih pendek atau bereproduksi lebih cepat dibandingkan ikan dan makrozoobentos sehingga lebih cepat dalam merespon perubahan lingkungan. Hal ini dapat mendukung penyediaan indikator peringatan dini dalam peningkatan pencemaran dan keberhasilan restorasi habitat.
- 2 Diatom perifiton merupakan produsen primer dalam rantai makanan akuatik yang dipengaruhi secara langsung oleh parameter fisika kimia perairan. Perubahan yang terjadi pada komunitas diatom dapat berdampak pada tingkat trofik di atasnya.
- 3 Diatom perifiton sensitif terhadap gangguan atau perubahan kondisi lingkungan yang mungkin tidak tampak pengaruhnya pada organisme lain atau hanya dapat

mempengaruhi organisme lain pada tingkat gangguan yang lebih tinggi.

- 4 Biaya pengambilan dan pengujian sampel relatif murah.
- 5 Sampel dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama untuk analisis lanjutan dan catatan jangka panjang. (Stevenson dkk., 2010; Zalack dkk., 2010, Barbour dkk., 1999)

### METODOLOGI

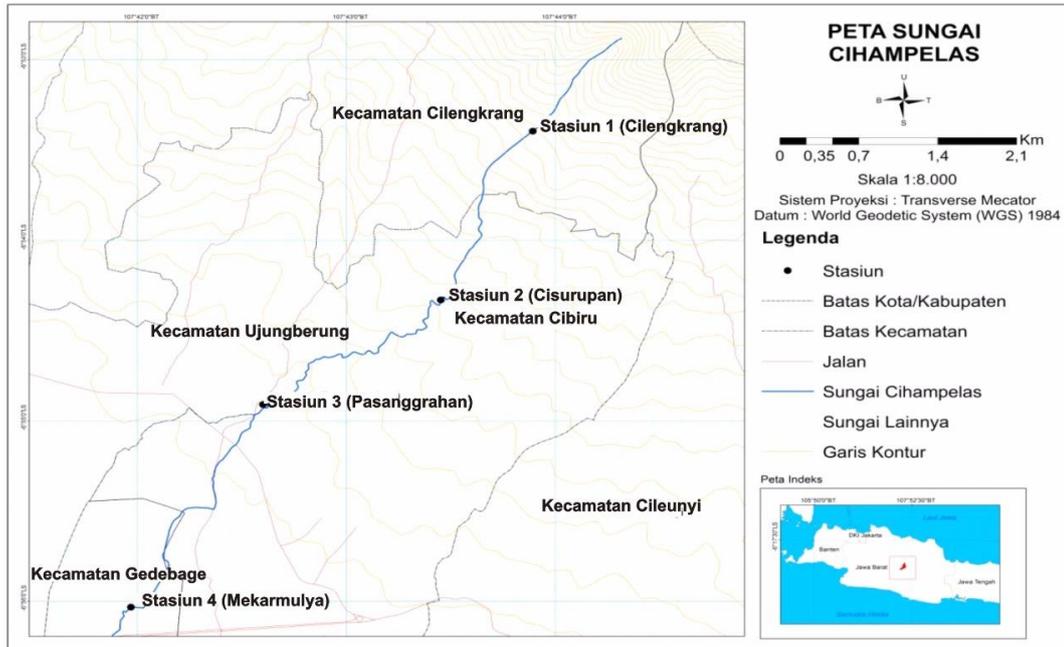
Penelitian ini dilakukan di Sungai Cihampelas dengan empat lokasi pengambilan sampel berdasarkan tingkat aktivitas antropogenik yang dimulai dari lokasi yang belum terganggu (minim gangguan) hingga lokasi yang diprediksi mengalami gangguan (Tabel 1). Pengambilan sampel dilakukan sebanyak empat kali dengan interval waktu dua minggu mulai bulan Juli hingga September 2016 yang diharapkan dapat merepresentasikan kondisi sungai di musim kemarau.

**Tabel 1** Lokasi Penelitian Kualitas Air di Sungai Cihampelas

No.	Lokasi	Koordinat	Keterangan
1	Cilengkrang	6°53'23,8" S 107°43'53,5" T	Perbukitan dan wisata air terjun
2	Cisurupan	6°54'19,9" S 107°43'27,1" T	Pemukiman, peternakan, dan pertanian
3	Pasanggrahan	6°55'05,4" S 107°42'29,6" T	Pemukiman padat dan industri
4	Mekarmulya	6°56'02,0" S 107°41'58,2" T	Industri

#### 1 Pengambilan Sampel Makrozoobentos

Pengambilan sampel makrozoobentos dilakukan dengan menggunakan jala surber (berukuran 30 cm x 30 cm) sebanyak lima kali ulangan. Sampel disaring menggunakan saringan Tyler bertingkat berukuran 30 mesh, dimasukkan ke dalam kantong plastik, dan ditambahkan formalin 5%. Proses identifikasi dilakukan dengan menggunakan buku Sangpradub dan Boonsoong (2006), Dudgeon (2009), Epler (2001), dan beberapa sumber lainnya.



**Gambar 1** Lokasi Penelitian di Sungai Cihampelas

## 2 Pengambilan Sampel Perifiton

Pengambilan sampel perifiton dilakukan dengan metode substrat buatan berupa kaca berukuran 7,5 x 2,5 cm<sup>2</sup> yang disusun secara vertikal dalam bingkai rak berbahan aluminium. Setiap bingkai rak berisi enam pelat kaca yang disusun dengan jarak antar pelat kaca sebesar 2 cm (Gambar 2). Pelat-pelat kaca dalam bingkai rak didedahkan di setiap stasiun selama dua minggu dan diganti dengan pelat-pelat kaca yang baru untuk kolonisasi dua minggu berikutnya hingga delapan minggu. Setiap stasiun ditempatkan tiga bingkai rak sejajar arah arus sungai.

Satu pelat kaca dari setiap rak dikerik kedua sisinya menggunakan pisau tajam, dimasukkan ke dalam botol film, ditambahkan 30 mL formalin 5 % untuk proses identifikasi. Sampel diidentifikasi dengan menggunakan buku acuan Smith (1950), Prescott (1964), Biggs dan Kilroy (2000), dan beberapa sumber lainnya.



**Gambar 2** Periphyton Sampler (Modifikasi APHA-AWWA-WEF, 2012)

Satu pelat kaca lain dari setiap rak dikerik kedua sisinya menggunakan pisau tajam, dilarutkan dalam 100 mL campuran 90 % larutan aseton dan 10 % larutan jenuh MgCO<sub>3</sub> untuk analisis klorofil-a.

## 3 Pengukuran Parameter Fisika Kimia Perairan

Pengukuran parameter fisika kimia perairan dilakukan secara *in-situ* dan di laboratorium. Pengukuran secara *in-situ* meliputi kedalaman, lebar, kecepatan arus, suhu, konduktivitas, pH, dan kandungan oksigen terlarut. Pengukuran parameter di laboratorium meliputi TSS, TDS, BOD, COD, Nitrat, dan Total Posfat.

## 4 Analisis Data

### 1) Indeks Pencemaran

Status mutu air sungai dapat ditentukan dengan menggunakan metode perhitungan Indeks Pencemaran (IP) berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003.

$$PI_j = \frac{\sqrt{\left(\frac{Ci}{Lij}\right)_M^2 + \left(\frac{Ci}{Lij}\right)_R^2}}{2}$$

Keterangan:

- PI<sub>j</sub> = indeks pencemaran
- C<sub>i</sub> = konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran
- Lij = konsentrasi parameter kualitas air dalam baku mutu air
- (C<sub>i</sub>/Lij)<sub>M</sub> = nilai maksimum dari C<sub>i</sub>/Lij
- (C<sub>i</sub>/Lij)<sub>R</sub> = nilai rata-rata dari C<sub>i</sub>/Lij

**Tabel 2** Kriteria Nilai Indeks Pencemaran (KepMenLH No. 115 Tahun 2003)

Nilai PIj	Kategori
$0 < PIj < 1,0$	Memenuhi baku mutu (kondisi baik)
$1,0 < PIj < 5,0$	Tercemar ringan
$5,0 < PIj < 10$	Tercemar sedang
$PIj > 10,0$	Tercemar berat

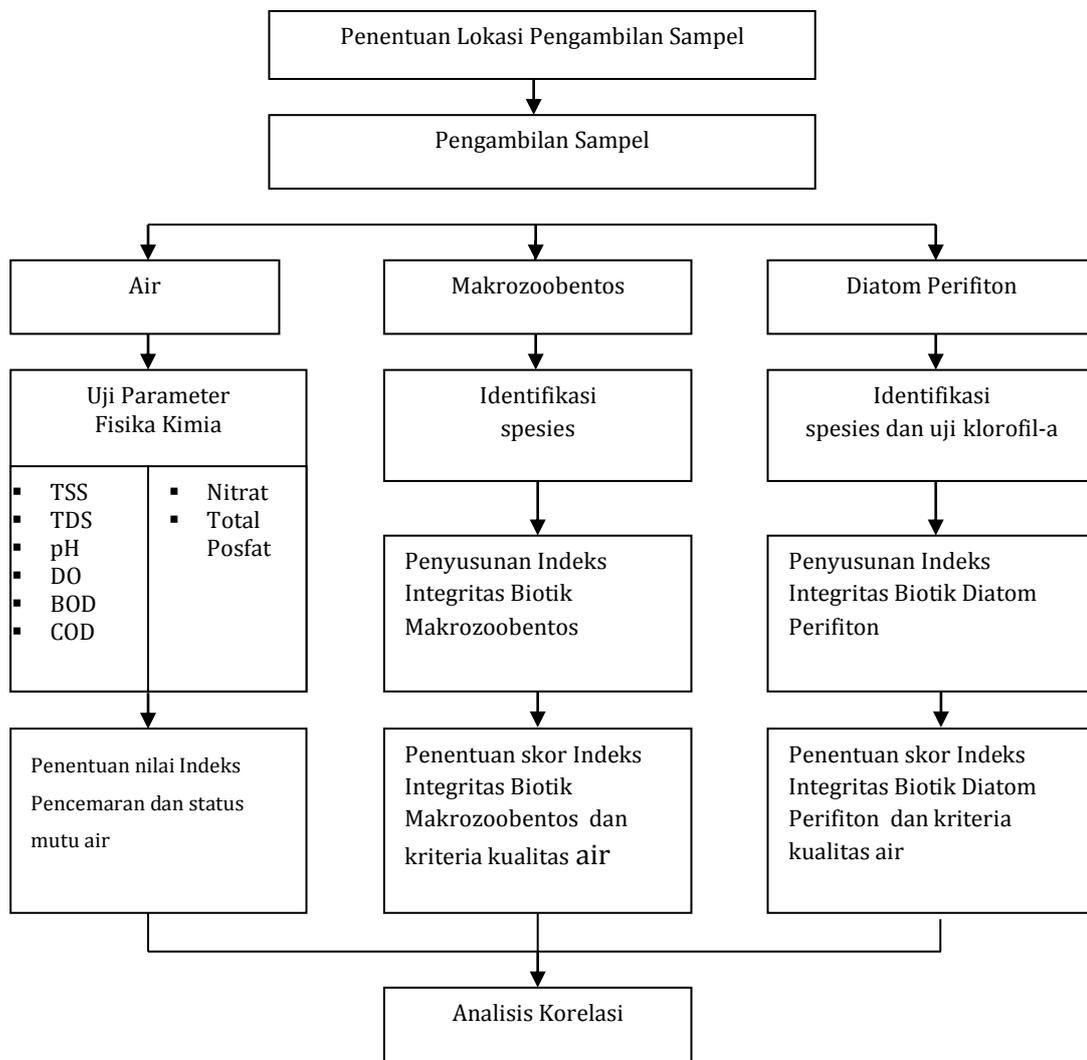
**2) Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos**

**a) Penentuan Kandidat Metrik**

Sebanyak 33 kandidat metrik diseleksi dalam rangka penyusunan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos. Kandidat metrik tersebut terdiri dari empat aspek yang meliputi kekayaan taksa, komposisi, status trofik atau habitat, dan nilai toleransi (Jun dkk., 2012).

**b) Seleksi Metrik**

Kandidat metrik dalam penyusunan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos diseleksi dalam beberapa tahapan sebagai berikut (Jun dkk., 2012).



**Gambar 3** Diagram Alir Metode Penelitian

**i) Analisis Kisaran dan Variabilitas Metrik**

Metrik yang memiliki kisaran nilai sempit dapat dihilangkan dalam analisis, misalnya 0–2 atau kurang (Davis, 2002). Variabilitas metrik diuji dengan cara menentukan nilai koefisien variansi pada setiap metrik di situs rujukan. Metrik yang memiliki koefisien variansinya melebihi angka 1 ( $CV > 1$ ) merupakan metrik yang memiliki variabilitas tinggi dan tidak digunakan dalam analisis pada tahap lanjutan dalam penyusunan indeks (Herbst dan Silldorff, 2009).

**ii) Analisis Redundansi Metrik**

Metrik yang memiliki nilai koefisien korelasi yang tinggi ( $r > 0,8$ ) diinterpretasikan sebagai metrik redundan dan hanya satu metrik yang dipertahankan untuk analisis lanjutan dalam penyusunan indeks (Jun dkk., 2012). Korelasi antar metrik di situs rujukan dapat diketahui dengan menggunakan analisis korelasi Spearman.

**iii) Analisis Sensitivitas Metrik**

Sensitivitas nilai metrik ditentukan dengan menggunakan *Box-Whisker* dan *Plot* untuk menunjukkan kekuatan perbedaan antara situs rujukan dan situs uji. Metrik yang tidak memiliki nilai interkuartil yang tumpang tindih antara situs rujukan dan situs uji dianggap sebagai metrik yang kuat dalam membedakan situs rujukan dan situs uji (Jun dkk., 2012).

**c) Standarisasi Metrik**

Penentuan skor dari setiap metrik dilakukan dengan menggunakan nilai kisaran metrik. Setiap nilai kisaran metrik terbagi ke dalam tiga skor. Nilai metrik yang diharapkan menurun sejalan dengan peningkatan gangguan atau pencemaran, maka nilai metrik di atas nilai kuartil terendah atau pertama (Q1) diberi skor 5. Sebaliknya, nilai metrik yang diharapkan meningkat sebagai respon terhadap pencemaran, maka nilai metrik di bawah nilai kuartil tertinggi atau ketiga (Q3) diberi skor 5. Skor 5 mengindikasikan sampel yang merupakan bagian dari situs rujukan, skor 3 mengindikasikan penyimpangan sedang, dan skor 1 mengindikasikan penyimpangan paling besar dari situs rujukan. Nilai minimum, maksimum, kuartil pertama, kedua, dan ketiga dari setiap metrik ditentukan sebagai ambang untuk menentukan kriteria skor (Baptista dkk., 2007). Penggabungan banyak metrik menjadi suatu metrik tunggal atau indeks multimetrik menghasilkan kisaran skor yang ditentukan berdasarkan jumlah skor minimum dan maksimum dari seluruh metrik. Kisaran skor indeks multimetrik terbagi ke dalam empat kriteria kualitas air sesuai pernyataan Wu dkk., (2012) yang meliputi sangat baik (persentil ke-90), baik (persentil ke-50 dan ke-90), sedang

(persentil ke-25 dan ke-50), dan buruk (< persentil ke-25).

**3) Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton**

**a) Penentuan Kandidat Metrik**

Kandidat metrik untuk penyusunan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton dikelompokkan ke dalam tujuh kategori diantaranya indeks biotik, indeks diversitas, indeks pemerataan, indeks dominansi, bentuk pertumbuhan, similaritas, dan komposisi taksonomi (Wu dkk., 2012).

**b) Seleksi Metrik**

Kandidat metrik dalam penyusunan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton diseleksi dalam beberapa tahapan sebagai berikut (Wang dkk., 2005).

**i) Analisis Median**

Setiap metrik yang memiliki nilai median nol dapat dieliminasi. Nilai median ditentukan berdasarkan nilai metrik gabungan dari situs rujukan dan situs uji.

**ii) Analisis Mann Whitney**

Analisis *Mann Whitney* digunakan terhadap metrik hasil analisis median. Metrik yang menunjukkan nilai signifikansi  $< 0,05$  dianggap sebagai metrik potensial dalam menetapkan perbedaan antara situs rujukan dan situs uji sehingga digunakan dalam analisis tahap selanjutnya.

**iii) Analisis Sensitivitas**

Nilai metrik dianalisis sensitivitasnya dalam membedakan situs rujukan dan situs uji dengan menggunakan *Box-Whisker* dan *Plot*. Metrik yang tidak memiliki nilai interkuartil yang tumpang tindih antara situs rujukan dan situs uji dianggap sebagai metrik yang kuat atau sensitif dalam membedakan situs rujukan dan situs uji.

**iv) Analisis Variabilitas**

Setiap metrik yang memiliki variabilitas tinggi tidak digunakan dalam penyusunan indeks. Variabilitas metrik dapat diketahui dengan menggunakan analisis koefisien variansi. Nilai koefisien variansi lebih dari satu ( $CV > 1$ ) menunjukkan variabilitas tinggi.

**c) Standarisasi Metrik**

Penentuan skor dari setiap metrik dilakukan dengan menggunakan nilai kisaran metrik yang terbagi ke dalam tiga skor. Metrik-metrik tunggal digabungkan menjadi suatu indeks multimetrik dengan kisaran skor yang ditentukan berdasarkan jumlah skor minimum dan maksimum dari seluruh metrik. Kisaran skor indeks multimetrik terbagi ke dalam empat kriteria kualitas air sesuai pernyataan Wu dkk., (2012) yang meliputi sangat baik (persentil ke-90), baik (persentil ke-50 dan ke-90), sedang

(persentil ke-25 dan ke-50), dan buruk (< persentil ke-25).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1 Penilaian Status Mutu Air Berdasarkan Indeks Pencemaran

Hasil pengukuran parameter fisika kimia perairan Sungai Cihampelas digunakan untuk menilai status mutu air sesuai Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 melalui perhitungan Indeks Pencemaran yang tercantum dalam Kepmen LH No. 115 Tahun 2003. Parameter kualitas air yang digunakan dalam perhitungan Indeks Pencemaran diantaranya TSS, TDS, pH, DO, COD, BOD, total posfat, dan nitrat.

Berdasarkan nilai Indeks Pencemaran, stasiun Cilengkrang dan Cisirupan memenuhi baku mutu air kelas IV pada bulan Juli hingga September 2016. Kedua stasiun memenuhi baku mutu air kelas III pada tanggal 30 Juli 2016, 13 Agustus 2016, dan 10 September 2016, sedangkan baku mutu air kelas II ditunjukkan stasiun Cilengkrang dan Cisirupan pada tanggal 30 Juli 2016 dan 13 Agustus 2016. Stasiun Cilengkrang memenuhi baku mutu air kelas I hanya pada tanggal 13 Agustus 2016, sedangkan stasiun Cisirupan tidak memenuhi baku mutu air kelas I selama periode pencuplikan.

Hasil perhitungan dengan menggunakan Indeks Pencemaran menunjukkan bahwa stasiun Pasanggrahan memenuhi baku mutu air kelas IV pada tanggal 13 Agustus 2016, 27 Agustus 2016, dan 10 September 2016. Baku mutu air kelas III ditunjukkan stasiun tersebut pada tanggal 13 Agustus 2016 dan 10 September 2016. Stasiun Pasanggrahan tidak memenuhi baku mutu air kelas I dan II selama periode pencuplikan. Stasiun Mekarmulya hanya memenuhi baku mutu air kelas IV pada tanggal 13 Agustus 2016. Stasiun tersebut tidak memenuhi baku mutu air kelas I, II, dan III selama periode pencuplikan.

Stasiun Cilengkrang termasuk ke dalam kategori memenuhi baku mutu air kelas I–IV selama pencuplikan sehingga tergolong kelas air I–IV. Stasiun Cisirupan telah memenuhi baku mutu air kelas II–IV selama pencuplikan sehingga tergolong kelas air II–IV. Stasiun Pasanggrahan telah memenuhi baku mutu air kelas III hingga melebihi baku mutu air kelas IV (tercemar ringan) sehingga tergolong kelas air III–IV+. Stasiun Mekarmulya telah memenuhi hingga melebihi baku mutu air kelas IV (tercemar

ringan) sehingga tergolong kelas air IV hingga IV+. Kelas IV+ hanya digunakan sebagai tanda pada kelas air IV yang telah tercemar ringan atau melebihi baku mutu air kelas IV pada penelitian ini.

Status mutu air di Sungai Cihampelas mengalami variasi diantara stasiun pencuplikan dan fluktuasi selama periode pencuplikan. Hal tersebut terutama dipengaruhi oleh konsentrasi BOD, COD, dan total posfat sebagai parameter kimia yang dapat melebihi baku mutu pada kelas air tertentu sehingga mempengaruhi nilai Indeks Pencemaran dan status mutu airnya. Selain konsentrasi BOD, COD, dan total posfat, nilai pH yang rendah sebesar 5,82 turut mempengaruhi nilai Indeks Pencemaran yang tinggi di stasiun Cilengkrang pada tanggal 27 Agustus 2016 sehingga hanya dapat memenuhi baku mutu air kelas IV pada waktu tersebut. Konsentrasi DO yang tidak memenuhi baku mutu air kelas I di stasiun Pasanggrahan dan Mekarmulya selama periode pencuplikan turut mempengaruhi tingginya nilai Indeks Pencemaran dan status mutu air yang dihasilkan, selain dipengaruhi oleh konsentrasi BOD, COD, dan total posfat. Hal tersebut ditunjukkan pula oleh stasiun Cisirupan pada pencuplikan tanggal 10 September 2016.

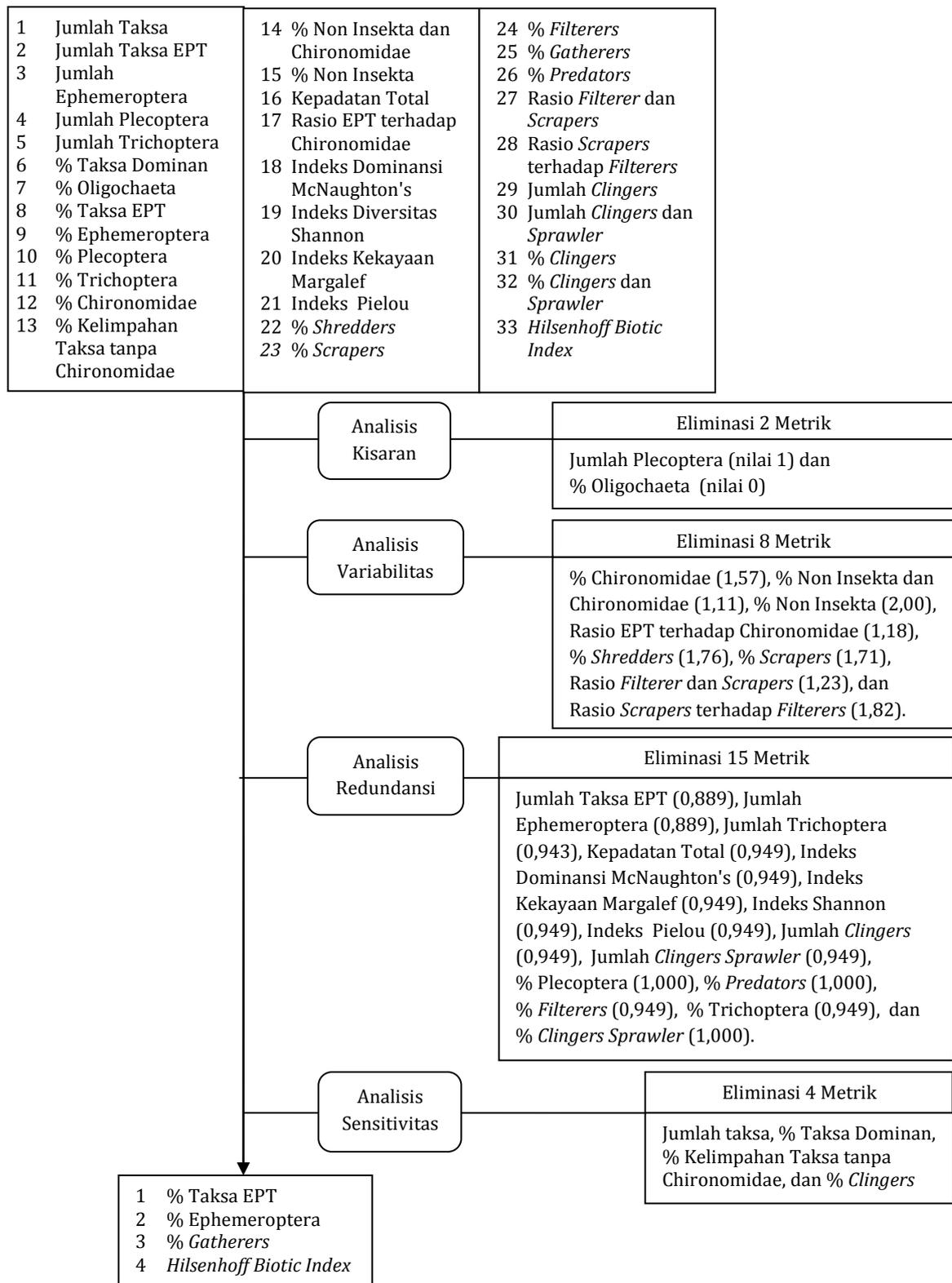
### 2 Penyusunan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos

#### 1) Seleksi Metrik

Penyusunan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dilakukan melalui proses seleksi terhadap 33 kandidat metrik (Gambar 4).

#### 2) Standarisasi Metrik

Penentuan kriteria skor dalam penyusunan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dilakukan terhadap metrik % EPT, % Ephemeroptera, % *Gatherers*, dan *Hilsenhoff Biotic Index* berdasarkan nilai kisaran metrik. Setiap nilai kisaran metrik terbagi ke dalam tiga skor atau sistem penskalaan (*scaling system*) 1,3,5 sesuai respon yang diharapkan sejalan dengan peningkatan gangguan atau pencemaran. Penggabungan keempat metrik terpilih menjadi suatu metrik tunggal atau indeks multimetrik menghasilkan kisaran skor yang ditentukan berdasarkan jumlah skor minimum dan maksimum dari keempat metrik. Kisaran skor sesuai hasil perhitungan adalah 4–18 yang terbagi ke dalam empat kriteria yang meliputi sangat baik (17–18), baik (12–16), sedang (8–11), dan buruk (4–7).



Gambar 4 Diagram Alir Seleksi Metrik Penyusun Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos

Metrik % EPT, % Ephemeroptera, dan % *gatherers*, dan *Hilsenhoff Biotic Index* yang dihasilkan pada proses seleksi metrik untuk penyusunan indeks menunjukkan kemampuannya dalam merepresentasikan kondisi ekologi atau kesesuaian dan tingkat penyimpangan dari kondisi alami di wilayah Sungai Cihampelas. Jun dkk. (2012) mengembangkan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dari 720 situs sungai dengan menyeleksi 34 metrik yang terbagi ke dalam empat kategori diantaranya kekayaan taksa, komposisi, struktur trofik atau habitat, dan toleransi. Hasil seleksi metrik menunjukkan bahwa terdapat delapan metrik yang mampu membedakan situs uji dan situs rujukan diantaranya metrik jumlah taksa, % taksa dominan, % individu EPT, % taksa tanpa Chironomidae, Indeks Shannon, % *gatherers*, rasio *filterers* dan *scrapers* terhadap kepadatan total, dan *Korean Saprobic Index* (KSI). Indeks tersebut memiliki empat kriteria integritas biologi yang terdiri dari sangat baik (32–38), baik (24–31), sedang (16–23), dan buruk (8–15).

Berdasarkan hasil penyusunan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos yang dilakukan di Sungai Cihampelas, hanya empat metrik yang cocok diaplikasikan di sungai tersebut karena memiliki kemampuan dalam mendiskriminasikan tingkat gangguan akibat aktivitas antropogenik. Jun dkk. (2012) menyatakan bahwa indeks multimetrik sangat efektif merefleksikan kondisi fisika kimia perairan dan pengaruh manusia hingga dapat mendiskriminasikan setiap kelas integritas biologi.

### 3 Penyusunan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton

#### 1) Seleksi Metrik

Penyusunan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton dilakukan dengan melalui proses seleksi terhadap 32 kandidat metrik (Gambar 5). Kandidat metrik dikelompokkan ke dalam tujuh kategori diantaranya indeks biotik, indeks diversitas, indeks pemerataan, indeks dominansi, bentuk pertumbuhan, similaritas, dan komposisi taksonomi (Wu dkk.,2012).

#### 2) Standarisasi Metrik

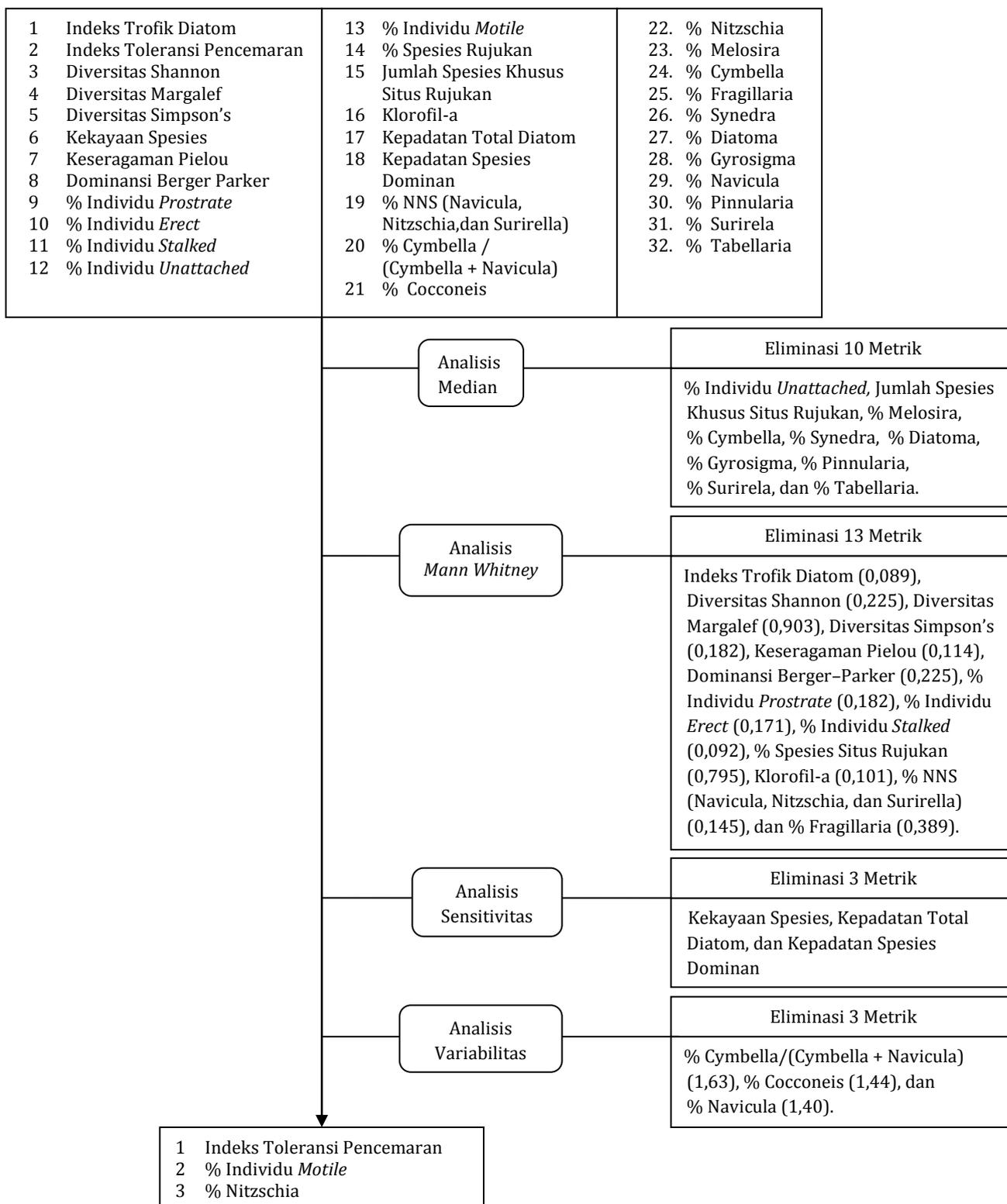
Seleksi yang dilakukan terhadap 32 kandidat metrik melalui tahap analisis median hingga analisis variabilitas menyisakan tiga metrik yang dapat digunakan dalam penyusunan Indeks

Integritas Biotik Diatom Perifiton. Ketiga metrik tersebut diantaranya Indeks Toleransi Pencemaran, % individu *motile*, dan % *Nitzschia*. Penentuan kriteria skor dari setiap metrik dilakukan dengan menggunakan sistem penskalaan (*scaling system*) 1,3,5. Penggabungan ketiga metrik terpilih menjadi suatu metrik tunggal atau indeks multimetrik menghasilkan kisaran skor yang ditentukan berdasarkan jumlah skor minimum dan maksimum dari ketiga metrik. Kisaran skor indeks multimetrik terbagi ke dalam empat kriteria kualitas air yang meliputi sangat baik (14–15), baik (10–13), sedang (6–9), dan buruk (3–5).

Metrik Indeks Toleransi Pencemaran, % individu *motile*, dan % *Nitzschia* yang dihasilkan pada proses seleksi metrik menunjukkan kemampuannya dalam merepresentasikan kondisi ekologi atau kesesuaian dan tingkat penyimpangan dari kondisi alami di wilayah Sungai Cihampelas. Penyusunan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton telah dilakukan pula oleh Tan dkk. (2015) di Sungai Han Cina yang telah tercemar atau mengalami pengayaan nutrisi dengan menyeleksi 98 metrik yang terbagi ke dalam enam kategori diantaranya indeks biotik, nilai ekologi, indeks diversitas, bentuk pertumbuhan, spesies sensitif, dan komposisi taksonomi. Penyusunan indeks tersebut menghasilkan empat metrik diantaranya % individu *prostrate*, % individu *Amphora*, % spesies polisaprobik, dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Diatom (IPBD) yang dikalkulasi dengan menggunakan sistem penskalaan 1–10. Skor total yang dihasilkan dari pengembangan indeks tersebut berkisar antara 10,47–37,61 yang diklasifikasikan ke dalam empat kriteria kondisi ekologi meliputi sangat baik (>34,07), baik (>29,38), sedang (>24,01), dan buruk (>0).

Penyusunan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton yang dilakukan di Sungai Cihampelas menghasilkan komponen metrik dan kriteria gangguan yang berbeda dengan indeks serupa yang dikembangkan di wilayah lain oleh Tan dkk. (2015). Hal ini dipengaruhi oleh tipe gangguan yang berbeda antar wilayah yang mempengaruhi perbedaan respon dari berbagai metrik. Situs di wilayah berbeda tidak selalu dapat ditentukan dengan benar statusnya sebagai rujukan atau terganggu oleh penggunaan indeks tertentu. Diatom yang memiliki variabilitas tinggi di berbagai wilayah dapat memenuhi kebutuhan untuk menyusun, mengkalibrasi, dan menguji metrik lokal atau regional yang dapat

mengindikasikan gangguan yang bervariasi antar wilayah (Wu dkk., 2012).



Gambar 5 Diagram Alir Seleksi Metrik Penyusun Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton

#### **4 Penilaian Kualitas Air Berdasarkan**

##### **Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos**

Hasil penilaian kualitas air berdasarkan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos selama empat kali pencuplikan menunjukkan bahwa stasiun Cilengkrang memiliki nilai indeks yang berkisar antara 10–18 dengan kategori sangat baik hingga sedang. Stasiun Cisirupan memiliki nilai indeks 8–10 dengan kategori sedang. Stasiun Pasanggrahan memiliki nilai indeks 4–8 dengan kategori sedang hingga buruk. Stasiun Mekarmulya memiliki nilai indeks sebesar 4 dengan kategori buruk (Tabel 3).

Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos di stasiun Cilengkrang yang menunjukkan nilai 10–18 (kategori sangat baik hingga sedang) selama empat kali pencuplikan memiliki kelas air I–IV berdasarkan Indeks Pencemaran. Stasiun Cisirupan yang menunjukkan nilai Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos sebesar 8 (kategori sedang) memiliki kelas air II–IV. Stasiun Pasanggrahan yang menunjukkan nilai Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos sebesar 4–8 (kategori sedang hingga buruk) memiliki kelas air III–IV+. Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos yang menunjukkan nilai 4 (kategori buruk) diperoleh dari stasiun Mekarmulya yang tergolong kelas air IV–IV+ selama pencuplikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kategori kualitas air berdasarkan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos tidak selalu bersesuaian dengan kelas air yang diperoleh berdasarkan Indeks Pencemaran. Hasil penelitian kualitas air sungai yang dilakukan oleh Xu dkk. (2014) menunjukkan tren yang tidak sesuai antara kualitas air hasil perhitungan berbagai metrik tunggal makrozoobentos dengan kelas air sesuai standar nasional yang berlaku di negara Cina. Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya penilaian kesehatan ekosistem sungai secara terintegrasi antara penilaian fisika kimia dan biologi.

#### **5 Penilaian Kualitas Air Berdasarkan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton**

Hasil penilaian kualitas air berdasarkan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton selama empat kali pencuplikan menunjukkan bahwa stasiun Cilengkrang memiliki nilai indeks yang berkisar antara 9–15 dengan kategori sangat baik hingga sedang. Stasiun Cisirupan memiliki nilai indeks sebesar 9 termasuk kategori sedang. Stasiun Pasanggrahan dan Mekarmulya memiliki nilai indeks paling rendah yang berkisar

antara 3–9 dengan kategori sedang hingga buruk (Tabel 4).

Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton di stasiun Cilengkrang yang menunjukkan nilai 9–15 (kategori sangat baik hingga sedang) selama empat kali pencuplikan tergolong kelas air I–IV berdasarkan Indeks Pencemaran. Stasiun Cisirupan yang memiliki nilai indeks yang tetap sebesar 9 (kategori sedang) tergolong kelas air II–IV. Nilai indeks sebesar 3–9 (kategori sedang hingga buruk) diperoleh dari stasiun Pasanggrahan yang memiliki kelas air III–IV+. Nilai indeks sebesar 3–9 (kategori sedang hingga buruk) diperoleh pula dari stasiun Mekarmulya dengan kelas air IV–IV+. Hal tersebut menunjukkan bahwa kategori kualitas air berdasarkan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton tidak selalu bersesuaian dengan kelas air yang diperoleh berdasarkan Indeks Pencemaran. Berbagai metrik tunggal untuk diatom perifiton yang digunakan oleh Qu dkk. (2014) pada penilaian kesehatan Sungai Taizi Cina menunjukkan tren yang tidak sesuai dengan kelas air sesuai standar nasional di negara Cina. Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya penilaian kesehatan ekosistem sungai secara terintegrasi antara penilaian fisika kimia dan biologi.

#### **6 Korelasi Indeks Pencemaran (Kelas Air) Terhadap Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dan Diatom Perifiton**

Hasil analisis korelasi Spearman yang disajikan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos memiliki korelasi negatif dan lebih kuat terhadap nilai Indeks Pencemaran pada kelas air I–IV bila dibandingkan nilai Indeks Biotik Integritas Diatom Perifiton ( $P < 0,01$ ). Korelasi negatif menunjukkan bahwa nilai Indeks Pencemaran yang semakin tinggi atau kelas air yang semakin turun dari kelas I hingga IV mengakibatkan penurunan nilai Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos yang menunjukkan kualitas air yang semakin buruk. Berdasarkan Hering dkk. (2006), makrozoobentos cocok digunakan dalam penilaian pencemaran organik karena dipengaruhi langsung oleh kondisi oksigen, sedangkan diatom bentuk cocok digunakan sebagai indikator pengayaan nutrien. Zalack (2010) menjelaskan bahwa indeks multimetrik makrozoobentos dan diatom sangat penting secara ekologi dan dapat digunakan untuk menilai dan merestorasi ekosistem sungai sehingga dapat mencapai suatu kondisi yang mendukung spesies sensitif, keragaman, dan kemiripan struktural dengan situs rujukan atau situs yang terkena gangguan secara minimal.

**Tabel 3** Kualitas Air Berdasarkan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos di Sungai Cihampelas Periode Juli–September 2016

Metrik	Kriteria Skor			Stasiun			
	5	3	1	Cilengkrang	Cisurupan	Pasanggrahan	Mekarmulya
% EPT	>72	33–72	<33	3–5	1–3	1	1
% Ephemeroptera		>23	≤23	1–3	1	1	1
% Gatherers	<42	42–44	>44	3–5	5	1–5	1
<i>Hilsenhoff Biotic Index</i>	<3,67	3,67–4,17	>4,17	3–5	1	1	1
Jumlah skor				10–18	8–10	4–8	4
Kriteria				sangat baik hingga sedang	sedang	sedang hingga buruk	buruk

**Tabel 4** Kualitas Air Berdasarkan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton di Sungai Cihampelas Periode Juli–September 2016

Metrik	Kriteria Skor			Stasiun			
	5	3	1	Cilengkrang	Cisurupan	Pasanggrahan	Mekarmulya
Indeks Toleransi Pencemaran	>2,95	1,56–2,95	<1,56	3–5	3	1–3	1–3
% Individu <i>Motile</i>	<0,72	0,72–59,26	>59,26	3–5	3	1–3	1–3
% <i>Nitzschia</i>	<0,01	0,01–0,59	>0,59	3–5	3	1–3	1–3
Jumlah Skor				9–15	9	3–9	3–9
Kriteria				sangat baik hingga sedang	sedang	sedang hingga buruk	sedang hingga buruk

**Tabel 5** Hasil Analisis Korelasi Spearman Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dan Diatom Perifiton Terhadap Indeks Pencemaran

Metrik	Indeks Pencemaran			
	Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV
Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos	-0,631**	-0,665**	-0,691**	-0,683**
Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton	-0,365	-0,426	-0,468	-0,462

\*\* nilai signifikansi < 0,01

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

Kualitas air di Sungai Cihampelas menunjukkan kategori sangat baik hingga buruk berdasarkan Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos. Stasiun Cilengkrang memiliki nilai indeks 10–18 (sangat baik hingga sedang), sedangkan stasiun Cisarupan memiliki nilai indeks 8–10 (sedang). Stasiun Pasanggrahan dan Mekarmulya masing-masing memiliki nilai indeks 4–8 (sedang hingga buruk) dan 4 (buruk).

Berdasarkan penilaian kualitas air dengan menggunakan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton, Sungai Cihampelas menunjukkan kualitas air sangat baik hingga buruk. Stasiun Cilengkrang memiliki nilai indeks 9–15 (sangat baik hingga sedang), sedangkan stasiun Cisarupan memiliki nilai indeks 9 (sedang). Stasiun Pasanggrahan dan Mekarmulya memiliki nilai indeks 3–9 (sedang hingga buruk).

Penilaian status mutu air berdasarkan metode Indeks Pencemaran menunjukkan bahwa sepanjang aliran Sungai Cihampelas tergolong kelas air I hingga IV+. Stasiun Cilengkrang dan Cisarupan masing-masing tergolong kelas air I–IV dan II–IV. Stasiun Pasanggrahan tergolong kelas air III–IV+, sedangkan stasiun Mekarmulya tergolong kelas air IV–IV+.

Hasil analisis korelasi Spearman menunjukkan bahwa Indeks Pencemaran (kelas air) memiliki korelasi negatif dan lebih kuat terhadap Indeks Integritas Biotik Makrozoobentos dibandingkan Indeks Integritas Biotik Diatom Perifiton.

## DAFTAR PUSTAKA

- Angermeier, P. L. dan Karr, J. R. 1994. *Biological integrity versus biological diversity as policy directives protecting biotic resources*. *BioScience* 44 : 690–697.
- APHA-AWWA-WEF. 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater* 22th Edition, American Public Health Association, Washington DC, USA.
- Azim, M. E. 2010. Photosynthetic Periphyton and surface, 175–182 dalam Likens, G. E., *Plankton of Inland Water*, 412 hal., Academic Press, New York.
- Baptista, D. F., D. F. Buss, M. Egler, A. Giovanelli, M. P, dan Silveira, J. L. Nessimian. 2007. *A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil*. *Hydrobiologia* 575: 83–94.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., dan 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.
- Barbour, M. T., Swietlik, W. F., Jackson, S. K., Courtemanch, D. L., Davies, S. P., dan Yoder, C. O. 2000. *Measuring the attainment of biological integrity in the USA: A critical element of ecological integrity*. *Hydrobiologia* 422/423 : 453–464.
- Bere, T. dan Tundisi, J. G. 2010. *Biological monitoring of lotic ecosystems: the role of diatoms*. *Braz. J. Biol.* 70 : 493–502.

- Biggs B. J. F dan Kilroy, C. 2000. *Stream periphyton monitoring manual. the New Zealand ministry for the environment*, NIWA, Christchurch, 121–204.
- Boonsoong, B, Sangpradub N. , dan Barbour, M. T. 2009. *Development of rapid bioassessment approaches using benthic macroinvertebrates for Thai streams. Environment Monitoring Assessment*. Published online; 17 Juli 2008 Springer Science + Business Media B.V. 2008.
- Cretaz, A. L. dan Barten, P. K. 2007. *Land use effect on stream flow and water quality in the Northeastern United States*, 83–103, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Davis, W. S. 2002. *Best practice for the development and interpretation of biological indices*, USEPA.
- Dudgeon D. 1999. *Tropical Asian Streams*. Hongkong University Press. Hongkong
- Epler, J. H. 2001. *Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina*. Department of Environment and Natural Resources, North Carolina.
- Fore L. S., Karr, J. R., dan Conquest, L. L. 1993. *Statistical properties of index of biological integrity used to evaluate water resource*. Can. J. Fish Aquatic. Sci. 51 : 1077–1087.
- Gitarama, A. M., Krisanti M., dan Agungpriyono, D. R. 2016. *Komunitas Makrozoobentos dan Akumulasi Kromium di Sungai Cimanuk Lama, Jawa Barat (Macrozoobenthic Communities and Accumulation of Chromium in Cimanuk Lama River, West Java)*. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)* Vol. 21 (1).
- Hadi, N. 2012. *Penilaian kesehatan Sungai Pesanggrahan dari hulu (bogor, jawa barat) hingga hilir (Kembangan, DKI Jakarta) dengan metrik Indeks of Biotic Integrity (IBI) (Skripsi)*. Jurusan Biologi. FMIPA. Universitas Indonesia.
- Hauer, F. R., dan Resh, V. H. 2006. 435–464 dalam Hauer, F. R. dan Lamberti, G. A, *Methods in Stream Ecology*, Second Edition, 896 hal., Academic Press, Elsevier, USA.
- Herbst, D. B. dan E. L. Silldorff. 2009. *Development of a Benthic Macroinvertebrate Index of Biological Integrity (IBI) for Stream Assessments in the Eastern Sierra Nevada of California*. Final Technical Report.
- Jun, Y. C., Won, D. H., Lee, S. H., Kong, D. S, dan Hwang, S. J. 2012. *A Multimetric Benthic Macroinvertebrate Index for the Assessment of Stream Biotic Integrity in Korea*. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 9.
- Kani, K. M. dan Murugesan, A. G. 2014. *Assessment of River Water Quality Using Macroinvertebrate Organisms as Pollution Indicators of Tamirabarani River Basin, Tamil Nadu, India*. *International Journal of Environmental Protection*. Vol. 4 (1) : 1–14.
- Karr, J. R. 1981. *Assessment of biotic integrity using fish communities*. *Fisheries* 6 : 21–27.
- Karr, J. R. dan Dudley, D. R. 1981. *Ecological perspective on water quality goals*. *Environmental Management* 5 : 55–68.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang pedoman penentuan status mutu air.
- Kupe, L., Schanz, F., dan Bachofen, R. 2008. *Biodiversity in the benthic diatom community in the upper river Toss reflected in water quality indices*. *Clean-Journal* 36: 84–91.
- Lacouture, R., Johnson, J., Buchanan, C., dan Marshall, H. 2006. *Phytoplankton index of biotic integrity for Chesapeake Bay and its tidal tributaries*. *Estuaries and Coasts*. 29 : 598–616.
- Mayaningtias, P. 2010. *Pengembangan biokriteria untuk menilai kualitas sungai dengan menggunakan larva Chironomidae (Diptera) di Sungai Ciliwung (Disertasi)*. Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati. Institut Teknologi Bandung.
- Muntalif, B. S., Chasanah N., dan Faza, M. F. 2015. *Relationship Population Density Of Aquatic Sediment Macrozoobenthos To River Water Quality Parameters (Case Study: Citarum Upstream, Subdistrict Kertasari, Bandung Regency)*. The Third Joint Seminar of Japan and Indonesia Environmental Sustainability and Disaster Prevention (3rd ESDP-2015) Institut Teknologi Bandung, Indonesia – November 25th, 2015.
- Muralidharan, M., Selvakumar, C., Sundar, S., dan Raja, M. 2010. *Macroinvertebrates as Potential Indicators of Environmental Quality*. Review Article. *International Year of Biodiversity*. Vol. 1 (Special Issue).

- Perera, L. G. R. Y., Wattavidanage, J. dan Nilakarawasam, N. 2012. *Development of a Macroinvertebrate-based Index of Biotic Integrity (MIBI) for Colombo-Sri Jayewardenepura Canal System*. Journal of Tropical Forestry and Environment 2 : 10–19.
- Prescott, G. W. 1964. *How to know freshwater algae*, WM. C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa, 222–249.
- Qu, X., Zhou, Y., Zhao, R., Bentsen, C., Yin, X., dan Zhang, Y. 2014. *Are diatom for river health assessment in China? A case study from Taizi River, Northeastern China*. British Journal of Environment & Climate Change 4 : 95–114.
- Rashleigh, B., Paulson, S., Flotemersch, J., dan Pelletier, P. 2013. *Biological assessment of streams and rivers in U.S. - design, methods, and analysis*. Journal of Ecology and Environmental 36 : 85–88.
- Sangpradub, N., dan Boonsoong, B. 2006. *Identification of freshwater invertebrates of the Mekong river and tributaries*. Mekong River Commission, Vientiane.
- Schneider, S. C., Lawniczak, A. E., Picińska-Faltynowicz, J., dan Szoszkiewicz, K. 2012. *Do macrophytes, diatoms and nondiatom benthic algae give redundant information? Results from a case study in Poland*. *Limnologica* 42 : 204–211.
- Smith G. M. 1950. *The freshwater algae of the United States*, Second Edition, McGraw Hill Book Company, New York.
- Stancheva, R. dan Sheath, R. G. 2016. *Benthic soft-bodied algae as bioindicators of stream water quality*. Review. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems.
- Stevenson, R. J., Pan, Y., dan van Dam, H. 2010. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms, 57–85 dalam Smol, J. P., dan Stoermer, E. F., *The Diatoms: applications for the environmental and earth sciences*, 234 hal., Cambridge University Press, Cambridge .
- Sudarso, J. dan Wardiatno, Y. 2015. *Penilaian status mutu sungai dengan indikator makrozoobentos*. Pena Nusantara.
- Sudaryanti, S. 2003. Refleksi pemberdayaan untuk Penilaian Kualitas Air Sungai. *Jurnal Penelitian Perikanan, Volume 6 Nomor 11, Tahun 2003*. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya Malang.
- Tan, X., Ma, P., Bunn, S. E., dan Zhang, Q. 2015. *Development of a benthic diatom index of biotic integrity (BD-IBI) for ecosystem health assessment of human dominant subtropical rivers, China*. Journal of Environmental Management 151 : 286–294.
- Tang, T., Cai, Q., dan Liu, J. 2006. *Using epilithic diatom communities to assess ecological condition of Xiangxi River system*. Environmental Monitoring and Assessment 112 : 347–361.
- Wang, Y., Stevenson R. J., dan Metzmeier, L. 2005. *Development and evaluation of a diatom-based Index of biotic integrity for the Interior Plateau Ecoregion, USA*. North Am. Benthol. Soc. 24 : 990–1008.
- Whittier, T. R., Hughes R. M., Stoddard, J. L., Lomnick G. A., Peck, D. V. dan Herlihy, A. T. 2007. A structured approach to developing indices of biotic integrity: three examples from western USA streams and rivers, *Transactions of the American Fisheries Society* 136: 718–735.
- Wu, N., Cai, Q., dan Fohrer, N. 2012. *Development and evaluation of a diatom-based index of biotic integrity (D-IBI) for rivers impacted by run-of-river dams*. Ecological Indicator 18.
- Xu, M., Wang, Z., Duan, X., dan Pan, B. 2014. *Effects of pollution on macroinvertebrates and water quality bio-assessment*. *Hydrobiologia* 729 : 247–259.
- Yudo, Satmoko. 2010. Pengembangan Sistem Basis Data Kualitas Air Sungai di Wilayah Jakarta. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, Vol. 12 No. 2, Agustus 2010.
- Zalack, J. T., Smucker, N. J., dan Vis, M. L. 2010. *Development of a diatom index of biotic integrity for acid mine drainage impacted streams*. Ecological Indicators 10 : 287–295.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Syamsul Bahri, S.Si., M.T. dari Puslitbang Sumber Daya Air, Bapak Dr. Yoyok Sudarso, M.Si. dan Bapak Tri Suryono, M.Si. dari Puslit Limnologi LIPI yang telah memberikan arahan dalam pengolahan data sehingga penelitian ini dapat berjalan lancar.