

PERANAN RUANG TERBUKA HIJAU DALAM PURIFIKASI SUNGAI CILIWUNG SEGMENT CILEBUT TIMUR, KABUPATEN BOGOR

Oleh: Ir. Agus Priyono, MS

Dosen Jurusan Konservasi Sumberdaya Alam dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University

Abstrak

Keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di sempadan sungai dapat menjadikan penyangga bagi sungai terhadap masukan pencemar ke aliran sungai. Selain berupa penyangga, keberadaan RTH di sempadan sungai juga mengurangi keberadaan pemukiman di area penyangga sungai tersebut sehingga masukan pencemar ke aliran sungai dapat berkurang. Penelitian dilakukan melalui pengukuran fisik-kimia kualitas air, makrozoobentos untuk menghitung indeks pencemaran di inlet dan outlet RTH.

Hasil analisis kualitas air Sungai Ciliwung segmen Cilebut Timur menunjukkan kondisi status kualitas air “sedang” berdasarkan Indeks Kualitas Air pada hulu, tengah dan hilir RTH. Berdasarkan indeks keanekaragaman makrozoobentos, pada segmen ini memiliki status kualitas air “tercemar sedang” pada hulu ruang terbuka hijau dan “tercemar ringan” pada tengah dan hilir RTH. Berdasarkan Indeks Biotik Hilsenhoff, pada hulu, tengah, dan hilir RTH memiliki status kualitas air “baik sekali” yang menunjukkan bahwa hanya terdapat sedikit pencemar organik.

Berdasarkan Indeks Kualitas Air, terdapat perubahan nilai dari 58.33 pada hulu menjadi 62.00 pada hilir RTH (selisih 3.67). Berdasarkan Indeks Keanekaragaman, terdapat perubahan nilai dari 1.342 pada hulu dan 1.809 pada hilir RTH (selisih 0.467) yang juga merubah status dari “tercemar sedang” menjadi tercemar ringan”. Berdasarkan Indeks Biotik Hilsenhoff, terdapat perubahan nilai dari 4.085 pada hulu menjadi 3.789 pada hilir RTH (selisih 0.296).

Kata kunci: ruang terbuka hijau, purifikasi, indeks pencemaran air.

Abstract

The existence of Green Open Space (RTH) on river borders can provide a buffer for rivers against pollutant input into river flows. Apart from being a buffer, the presence of green open space on river borders also reduces the presence of settlements in the river buffer area so that pollutant input into the river flow can be reduced. The research was carried out through physical-chemical measurements of water quality, macrozoobentos to calculate the pollution index at the inlet and outlet of green open spaces.

The results of the analysis of the water quality of the Ciliwung River in the East Cilebut segment show that the water quality status is "medium" based on the Water Quality Index at the upstream, middle and downstream of the RTH. Based on the macrozoobentos diversity index, this segment has a water quality status of "moderately polluted" in the upstream green open space and "lightly polluted" in the middle and downstream of the green open space. Based on the Hilsenhoff Biotic Index, the upstream,

middle and downstream areas of the RTH have a water quality status of "very good" which indicates that there are only a few organic pollutants.

Based on the Water Quality Index, there is a change in value from 58.33 upstream to 62.00 downstream of RTH (difference 3.67). Based on the Diversity Index, there is a change in value from 1,342 at the upstream and 1,809 at the downstream of the RTH (a difference of 0.467) which also changes the status from "moderately polluted" to lightly polluted." Based on the Hilsenhoff Biotic Index, there is a change in value from 4,085 upstream to 3,789 downstream of green open space (difference 0.296).

Key words: green open space, purification, water pollution index.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sungai merupakan suatu ekosistem perairan tawar yang mengalir dari hulu hingga ke hilir. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011, sungai merupakan alur atau wadah air baik alami maupun buatan berupa jaringan pengalir air beserta air di dalamnya mulai dari hulu hingga muara yang dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Sempadan sungai merupakan daerah penyangga ekosistem sungai yang berada di bagian kanan dan kiri sungai. Sempadan sungai seharusnya didominasi oleh tumbuhan seperti rumput, semak, bambu, dan pepohonan.

Kementrian Lingkungan Hidup melalui Badan Pusat Statistika (2017) menyatakan bahwa Sungai Ciliwung telah mengalami pencemaran dari tingkat pencemar sedang sampai tingkat pencemaran berat dari hulu hingga hilir. Perubahan kualitas air sungai dapat dipengaruhi kondisi sempadan sungai. Penurunan kualitas air sungai dapat terjadi karena penurunan kualitas lingkungan di sekitar sungai. Adanya perubahan tata guna lahan akibat tekanan penduduk terutama pada daerah penyangga sungai mengakibatkan beban pencemar semakin tinggi (Wiwoho 2005). Tingginya aktifitas manusia terutama di sekitar aliran sungai mengakibatkan produksi limbah terutama limbah rumah tangga semakin besar yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas air sungai. Penurunan kualitas air sungai tersebut dapat terjadi baik pembuangan limbah secara langsung oleh manusia ke badan sungai ataupun secara tidak langsung yang dibuang melalui saluran yang mengarah ke sungai. Peningkatan kualitas air sungai dapat terjadi secara alami dengan daya pulih alami atau *self purification* yang dapat mengencerkan pencemar yang masuk ke aliran air sungai. Daya pulih alami kualitas air sungai membutuhkan waktu cukup lama dan bergantung kepada masukan pencemar ke dalam air sungai. Peningkatan kualitas air sungai melalui daya pulih alami dapat bekerja lebih maksimal saat aliran sungai tidak terdapat masukan pencemar.

Daya pulih alami atau *self purification* air sungai dapat meningkatkan kualitas air sungai. Hal ini dapat terjadi dengan menghentikan masukan pencemar ke aliran sungai sehingga pengenceran pencemar air sungai dapat terjadi tanpa adanya penurunan kembali terhadap kualitas air sungai dari masuknya pencemar pada segmen lainnya. Pencegahan masuknya pencemar ke aliran sungai salah satunya dengan pengadaan ruang terbuka hijau di sempadan sungai.

Keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di sempadan sungai dapat menjadikan penyangga bagi sungai terhadap masukan pencemar ke aliran sungai. Selain berupa

penyangga, keberadaan RTH di sempadan sungai juga mengurangi keberadaan pemukiman di area penyangga sungai tersebut sehingga masukan pencemar ke aliran sungai dapat berkurang. Elosegui *et al.* (1995) dan Hubacikova *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa kemampuan purifikasi lebih efektif setelah melewati ruang terbuka hijau seperti hutan atau semak belukar. Oleh karena ini keberadaan RTH di sempadan sungai seharusnya dapat meningkatkan kualitas air sungai yang dilewatinya dengan lebih efektif.

Sungai Ciliwung merupakan sungai yang memiliki hulu di Provinsi Jawa Barat dan hulu di Provinsi DKI Jakarta. Sungai Ciliwung memiliki peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan air pada daerah-daerah yang dilewatinya tetapi sungai ini memiliki kualitas air yang buruk. Berdasarkan laporan Kementerian Lingkungan Hidup (2013), Sungai Ciliwung telah mengalami pencemaran hingga tingkat cemar berat dari hulu hingga hilir. Hal ini dapat terjadi dimungkinkan karena masukan pencemar yang berlebihan, terutama pada kondisi sekitar sungai berupa pemukiman dan industri.

Pada bagian Sungai Ciliwung segmen Cilebut Timur terdapat sempadan sungai yang merupakan Ruang Terbuka Hijau (RTH). RTH tersebut berperan dalam peningkatan kualitas air Sungai Ciliwung pada segmen tersebut. Dengan demikian pembangunan RTH di sempadan sungai sangat penting dalam memperbaiki kualitas air sungai.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis status kualitas air Sungai Ciliwung di inlet, tengah, dan outlet ruang terbuka hijau segmen Cilebut Timur, Kabupaten Bogor.
2. Membandingkan kualitas air Sungai Ciliwung segmen Cilebut Timur sebelum dan setelah melewati sempadan sungai berupa ruang terbuka hijau.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui peranan ruang terbuka hijau dalam peningkatan kualitas air sungai.
2. Mendorong pengelolaan DAS Ciliwung untuk meningkatkan kualitas lingkungan pada sempadan Sungai Ciliwung berupa pengadaan ruang terbuka hijau dalam usaha perbaikan kualitas air Sungai Ciliwung.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Juni-Juli 2023. Penelitian dilakukan di Sungai Ciliwung yang melewati Desa Cilebut Timur, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Pengambilan contoh air dilakukan pada 3 titik sampling, yaitu pada bagian inlet, tengah, dan outlet. Koordinat titik sampling inlet: 6°31'43.42"LS dan 106°48'19.02"BT; tengah: 6°31'38.70"LS dan 106°48'27.07"BT; serta outlet: 6°31'33.63"LS dan 106°48'26.30"BT. Jarak antara inlet dengan tengah dan outlet masing-masing sepanjang 200m. Posisi titik pengambilan sampel seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu botol sampel air, botol sampel makrozoobentos, surber, pengapung, pita ukur, pinset, stopwatch, kamera, alat tulis, dan *software HemiView*. Bahan yang digunakan berupa sampel makrozoobentos, sampel air sungai, dan alcohol 70%.

Pengumpulan Data

Jenis data yang dikumpulkan meliputi kondisi fisik sungai, kualitas air sungai, makrozoobentos, analisis vegetasi, dan *leaf area index*. Kualitas air sungai didapatkan dengan menganalisis kandungan parameter kualitas air air.

Fisik Sungai

- Lebar sungai diukur pada titik sampling (outlet, tengah, inlet) dengan menggunakan pita ukur.
- Kecepatan aliran air sungai diukur dengan menggunakan metode apung. Pengukuran dilakukan di setiap stasiun pengambilan data sampel air. Pengukuran kecepatan air diperoleh dengan menghitung kecepatan bola yang diapungkan di air sungai sejauh 20 meter.
- Substrat dasar sungai diamati secara langsung untuk mengetahui tipe dasar sungai.

Kualitas Air

Pengambilan data kualitas air dilakukan di 3 titik sampling dengan pengambilan contoh air secara komposit sampling di setiap titik sampling dengan penggabungan sampel air bagian tepi kanan, tengah, dan tepi kiri sungai (Gambar 1). Suhu dan pH air diukur secara langsung dengan menggunakan termometer air raksa dan pH meter. Sampel air selanjutnya dianalisis di laboratorium PPLH IPB untuk mengetahui kandungan DO, BOD, kekeruhan, TDS, nitrat dan total fosfat pada tiap sampel air.

Makrozoobentos

Pengumpulan makrozoobentos dilakukan dengan menggunakan surber dengan bukaan 20x20cm. Surber diletakan di dasar sungai melawan arus sungai. Dasar sungai di bagian mulut surber diusik agar makrozoobentos terbawa arus dan masuk ke dalam surber. Makrozoobentos kemudian dimasukan ke dalam botol dan diawetkan dengan alkohol untuk selanjutnya dilakukan identifikasi jenis makrozoobentos.

Vegetasi Ruang Terbuka Hijau Sempadan

Pengambilan data mengenai vegetasi di sempadan sungai dilakukan dengan analisis vegetasi dan pengukuran *leaf area index*. Analisis vegetasi dilakukan dengan menggunakan plot contoh berukuran 20x20m yang tersebar di sempadan sungai dengan sub plot 2x2m untuk tumbuhan bawah dan semai, 5x5m untuk pancang, 10x10m untuk tiang, dan 20x20m untuk pohon. Pengumpulan data *leaf area index* (LAI) dilakukan dengan menggunakan kamera DSLR dengan lensa *fisheye* untuk mendapat gambar tutupan tajuk yang diambil di sempadan sungai. Gambar yang telah diambil kemudian diolah dengan aplikasi *HemiView* untuk mendapatkan hasil berupa *leaf area index*.

Analisis Data

Debit Sungai

Debit air sungai dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Asdak 2002):

$$Q = A \times V$$

keterangan :

- Q = debit air (m³/det)
- A = luas penampang sungai (m²)
- V = kecepatan arus (m/det)

Status Kualitas Air berdasarkan Parameter Fisik-Kimia

Status kualitas air ditentukan dengan menggunakan acuan *National Sanitation Foundation Water Quality Index* (NSF-WQI) atau Indeks Kualitas Air (IKA). Perhitungan Indeks Kualitas Air dilakukan dengan rumus sebagai berikut (Ott 1978):

$$IKA = \sum_{k=0}^n W_i \cdot L_i$$

keterangan:

- IKA = Indeks Kualitas Air
- W_i = Bobot tiap parameter (Tabel 1)
- L_i = Nilai dari kurva sub-indeks
- n = Jumlah parameter

Parameter yang digunakan dalam perhitungan Indeks Kualitas Air beserta bobot setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter dan Bobot Parameter dalam Perhitungan Indeks Kualitas Air

No.	Parameter	Bobot Parameter (wa)	Bobot parameter penyesuaian (wb)	Satuan
1	Oksigen Terlarut	0.17	0.20	mg/L
2	pH	0.11	0.13	-
3	BOD	0.11	0.13	mg/L
4	Suhu	0.10	0.12	°C
5	Kekeruhan	0.08	0.10	NTU
6	Padatan total	0.07	0.08	mg/L
7	Nitrat	0.10	0.12	mg/L
8	Total Fosfat	0.10	0.12	mg/L

Kriteria Indeks Kualitas Air diklasifikasikan kedalam 5 kategori menurut Brown *et al.* (1970) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Klasifikasi Kategori Indeks Kualitas Air

No.	Nilai	Kategori
1	0-25	Sangat buruk
2	26-50	Buruk
3	51-70	Sedang
4	71-90	Baik
5	91-100	Sangat baik

Status Kualitas Air berdasarkan Parameter Biotik

Status kualitas air dihitung dengan menggunakan parameter biotik melalui komunitas makrozoobentos. Analisis data meliputi indeks keanekaragaman makrozoobentos dan indeks biotik Hilsenhoff.

a. Indeks Keanekaragaman Makrozoobentos

Keanekaragaman makrozoobentos dapat dihitung dengan menggunakan indeks keanekaragaman *Shannon-wiener* dengan rumus sebagai berikut (Magurran 2004):

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Keterangan:

H' = Indeks Keanekaragaman *Shannon-wiener*

p_i = Perbandingan jumlah individu jenis tertentu dengan jumlah individu keseluruhan individu (n/N).

Selang rentang nilai dari indeks *Shannon-wiener* ini dapat menunjukkan kualitas air dilihat dari tingkat keanekaragaman makrozoobentos di perairan tersebut. Menurut Lee *et al.* (1978) interpretasi nilai indeks *Shannon-wiener* terhadap kualitas air seperti yang terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3 Klasifikasi Tingkat Pencemaran berdasarkan Indeks Keanekaragaman

Tingkat Pencemaran	Indeks Keanekaragaman
Belum Tercemar	>2.0
Tercemar ringan	1.6-2.0
Tercemar sedang	1.0-1.5
Tercemar berat	<1,5

b. Indeks Biotik Hilsenhoff

Indeks biotik *Hilsenhoff* merupakan indeks biotik yang digunakan sebagai parameter penduga kualitas air. Indeks ini dapat lebih menunjukkan kualitas air karena mempertimbangkan nilai tingkat toleransi dari setiap jenis makrozoobentos. Rumus Indeks Biotik *Hilsenhoff* sebagai berikut (Hilsenhoff 1982):

$$HBI = \sum \frac{ni \times ti}{N}$$

Keterangan:

- HBI = Indeks Biotik *Hilsenhoff*
 ni = Jumlah individu makrozoobentos jenis i
 ti = Nilai toleransi jenis i
 N = Jumlah total individu makrozoobentos

Hasil perhitungan indeks tersebut dapat diinterpretasikan mengenai kualitas air dan tingkat pencemarannya seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Klasifikasi Kualitas Air berdasarkan Indeks Biotik *Hilsenhoff* (HBI)

Indeks Biotic Hilsenhoff	Kualitas Air	Tingkat pencemaran
0.00 – 3.75	Sangat baik	Tidak terpolusi bahan organik
3.76 – 4.25	Baik sekali	Sedikit terpolusi bahan organik
4.26 – 5.00	Baik	Terpolusi beberapa bahan organik
5.01 – 5.75	Cukup	Terpolusi agak banyak
5.76 – 6.50	Agak Buruk	Terpolusi banyak
6.51 – 7.25	Buruk	Terpolusi cukup banyak
7.26 – 10.00	Sangat Buruk	Terpolusi berat

c. Kesamaan Komunitas Makrozoobentos

Kesamaan komunitas makrozoobentos dihitung dengan menggunakan indeks kesamaan Sorensen. Indeks tersebut merupakan indeks yang digunakan untuk mengukur tingkat kesamaan jenis dari dua unit contoh yang dibandingkan. Indeks ini digunakan untuk mengukur kesamaan jenis makrozoobentos di tiap unit contoh. Rumus Indeks Kesamaan Jenis sebagai berikut (Odum 1971):

$$IS = \frac{2C}{A+B} \times 100\%$$

Keterangan:

- IS = Indeks Sorensen
 C = Jumlah jenis yang sama pada dua unit contoh yang dibandingkan
 A = Jumlah jenis di lokasi a
 B = Jumlah jenis di lokasi b

Vegetasi Ruang Terbuka Hijau Sempadan

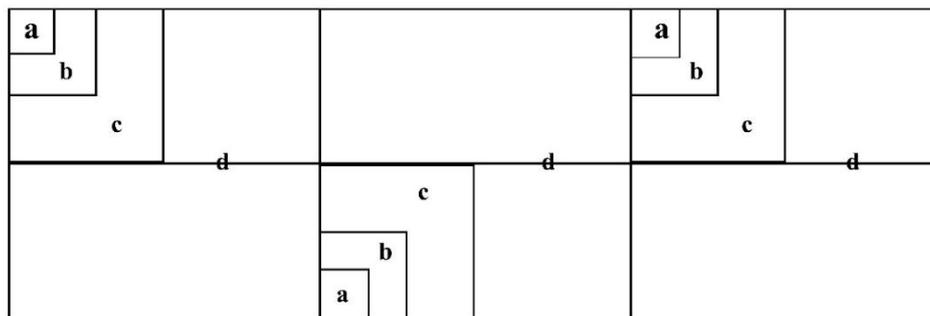
Kondisi vegetasi sempadan sungai dianalisis menggunakan indeks luas daun (*leaf area index*) dan analisis vegetasi. Hasil analisis yang didapatkan berupa kelas tutupan lahan dari hasil *leaf area index* serta kerapatan, frekuensi, dan dominansi vegetasi hasil analisis vegetasi.

a. Leaf Area Index

Indeks luas daun atau *leaf area index* merupakan indeks yang menunjukkan hubungan antara luas daun dengan luas bidang yang tertutupi. Penentuan indeks ini menggunakan metode *threshhold* dimana ambang batas ditentukan oleh peneliti dalam penggunaan aplikasi *HemiView* untuk mendapatkan nilai indeks. Indeks ini digunakan untuk mengetahui tutupan tajuk di ruang terbuka hijau di sempadan sungai.

b. Analisis Vegetasi

Analisis vegetasi merupakan cara mempelajari susunan (komposisi jenis) dan bentuk (struktur) vegetasi atau masyarakat tumbuh-tumbuhan. Vegetasi di sempadan sungai perlu dianalisis sebagai data pendukung dalam purifikasi kualitas air sungai yang melewati tegakan tersebut. Analisis vegetasi yang dilakukan menggunakan metode petak. Skema dalam analisis vegetasi seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Sketsa analisis vegetasi

Keterangan:

a : 2x2 meter (petak contoh semai dan tumbuhan bawah)

b : 5x5 meter (petak contoh pancang)

c : 10x10 meter (petak contoh tiang dan palem)

d : 20x20 meter (petak contoh pohon, liana, dan epifit)

Data analisis vegetasi yang diambil meliputi jenis, jumlah, serta jari-jari untuk tiang dan pohon. Data yang telah diambil dianalisis untuk mengetahui hal-hal dibawah ini:

Kerapatan (K) = jumlah individu / luas petak contoh

K Relatif (KR) = (K suatu jenis / K total seluruh jenis) x 100%

Frekuensi (F) = jumlah sub petak ditemukan suatu spesies / total sub petak

F Relatif (FR) = (F suatu jenis / F total seluruh jenis) x 100%

Dominasi (D) = Luas bidang dasar suatu spesies / Luas petak contoh

D Relatif (DR) = (D suatu jenis / D total seluruh jenis) x 100%

Indeks Nilai Penting (INP) = KR + FR + DR

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Sungai Ciliwung Segmen Cilebut Timur

Sungai Ciliwung merupakan sungai yang melintasi dua provinsi. Hulu Sungai Ciliwung terdapat di Provinsi Jawa Barat sedangkan hilir terdapat di Provinsi DKI Jakarta. Sungai Ciliwung melintasi wilayah Kabupaten Bogor termasuk didalamnya adalah segmen sungai Desa Cilebut Timur. Pada segmen Cilebut Timur ini terdapat sempadan sungai berupa ruang terbuka hijau.

Sempadan Sungai Ciliwung pada segmen Cilebut Timur memiliki RTH seluas 6 hektar dengan aliran sungai sepanjang 450 meter. Berdasarkan hasil observasi lapang, kondisi substrat Sungai Ciliwung pada segmen ini didominasi oleh pasir dan batu-batuan. Kecepatan arus sungai pada segmen ini berkisar 1.26 meter/detik hingga 3.16 meter/detik. Menurut Macon (1974), tipe arus berdasarkan kecepatannya dapat dibagi menjadi lima tipe yaitu sangat cepat (> 1 meter/detik), arus cepat (0.5-1 meter/detik), arus sedang (0.2-0.5 meter/detik), arus lambat (0.1-0.2 meter/detik), dan arus sangat lambat (< 0.1 meter/detik). Berdasarkan tipe arus tersebut maka arus Sungai Ciliwung pada segmen ini tergolong kedalam sungai dengan arus sangat cepat.

Sungai Ciliwung pada segmen Cilebut Timur memiliki lebar sungai rata-rata 19 meter' kedalaman sungai kurang dari 3 meter dengan lebar rata-rata ruang terbuka hijau 39.42 meter. Berdasarkan kecepatan arus sungai dan luas penampang sungai yang didapatkan maka rata-rata debit air Sungai Ciliwung pada segmen ini sebesar 186.72 m³/detik. Pada segmen ini kondisi sempadan sungai sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 yang menyatakan bahwa sungai dengan kedalaman sampai dengan 3 meter paling sedikit memiliki sempadan sungai 10 meter di kanan dan kiri sungai.

Ruang terbuka hijau yang berada di sempadan Sungai Ciliwung pada segmen Cilebut Timur merupakan RTH yang berbatasan langsung dengan pemukiman. Berdasarkan perhitungan *Leaf Area Index* di lapang, didapatkan nilai sebesar 2.508. Klasifikasi oleh Turner *et al.* (1999) menyatakan bahwa *Leaf Area Index* dengan nilai 2.508 merupakan vegetasi berupa hutan bervegetasi rendah dan kebun. Secara umum, kondisi sempadan sungai berupa RTH di segmen Cilebut Timur terdiri dari perkebunan dan hutan bervegetasi rendah seperti yang tertera pada Gambar 3



Gambar 3 Foto kondisi sempadan sungai

Kualitas Air Sungai

Analisis kualitas air berdasarkan parameter fisika dan kimia pada Sungai Ciliwung di segmen Cilebut Timur menunjukkan terjadinya perubahan dari arah inlet, tengah, dan outlet RTH di segmen tersebut. Parameter fisika dan kimia sebagai penentu status kualitas air memiliki standar baku mutu air yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Berdasar peruntukannya, Sungai Ciliwung bagian tengah ini masuk ke dalam target kelas II (KLH 2010). Hasil analisis kualitas air Sungai Ciliwung pada segmen Cilebut Timur yang melewati RTH tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Baku mutu air dan hasil analisis kualitas air

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Kelas II	Lokasi		
			Inlet	Tengah	Outlet
Kekeruhan	NTU	-	0.83	0.78	0.71
TDS	mg/L	50	65.67	52.57	45.33
DO	mg/L	≥4	4.46	4.71	4.81
BOD	mg/L	3	2.39	1.58	1.53
Nitrat	mg/L	25	0.11	0.10	0.13
Fosfat	mg/L	0.2	0.13	0.11	0.14
pH	-	6-9	5.33	5.33	6.00
Suhu	°C	deviasi 3	25.28	25.50	25.61

Keterangan :

NTU : *Nephelometric Turbidity Unit*

TDS : Total padatan terlarut

DO : Oksigen terlarut

BOD : Kebutuhan oksigen biologi

Hasil analisis kualitas air pada Tabel 5 menunjukkan bahwa secara kuantitatif terjadi perubahan nilai kandungan parameter tersebut dari inlet ke arah outlet. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, kualitas air dari inlet ke arah outlet semua parameter mengalami peningkatan dan memenuhi baku mutu kelas II (KLH 2010), kecuali BOD sedikit melampauinya.

Struktur Komunitas Makrozoobentos

Makrozoobentos merupakan hewan invertebrata yang hidup di dasar perairan. Makrozoobentos hidup secara menetap pada suatu perairan sehingga dapat dijadikan sebagai indikator biologi kualitas air. Menurut Izmiarti (2010), komposisi dan struktur komunitas makrozoobentos yang hidup dalam perairan seperti sungai merupakan hasil adaptasinya terhadap perubahan kualitas air yang terjadi di dalam sungai tersebut. Perairan yang tercemar akan mempengaruhi kelangsungan hidup organisme makrozoobentos karena makrozoobentos merupakan biota air yang mudah terpengaruh oleh adanya bahan pencemar, baik bahan pencemaran kimia maupun fisik (Odum 1994).

Hasil sampling yang diperoleh dari tiga titik yaitu inlet, bagian tengah, dan outlet RTH terdapat 11 famili makrozoobenthos dari 6 ordo. Trichoptera dan Ephemeroptera merupakan ordo yang memiliki jumlah individu paling banyak. Jumlah individu dari ordo Trichoptera yang didapatkan sebanyak 110 individu yang terdiri dari 97 individu pada inlet, 8 individu pada bagian tengah, serta 5 individu pada outlet. Sedangkan ordo Ephemeroptera didapatkan sebanyak 83 individu terdiri dari 58 individu pada inlet, 18

individu di bagian tengah serta 7 individu pada outlet. Ordo Trichoptera yang merupakan ordo dengan jumlah individu terbanyak hanya terdiri dari satu famili yaitu Hydropsychidae, sedangkan ordo Ephemeroptera yang ditemukan terdiri dari 6 famili. Secara keseluruhan hasil rekapitulasi hasil sampling dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Rekapitulasi sampling makrozoobentos

No	Ordo	Famili	Inlet	Tengah	Outlet
1	Ephemeroptera	Baetidae	16	12	1
2	Diptera	Chironomidae	0	3	1
3	Plecoptera	Chloroperlidae	0	6	3
4	Coleoptera	Dryopidae	8	2	3
5	Ephemeroptera	Ephemerellidae	5	1	0
6	Hirundinea	Hirundinea	1	1	0
7	Trichoptera	Hydropsychidae	97	8	5
8	Ephemeroptera	Leptohyphidae	6	3	0
9	Ephemeroptera	Potamanthidae	26	1	4
10	Ephemeroptera	Siphonuridae	5	1	0
11	Ephemeroptera	Tricorythidae	0	0	2

Hasil pada Tabel 6 menunjukkan bahwa ordo Trichoptera dan Ephemeroptera merupakan ordo yang memiliki kelimpahan yang tinggi. Kelimpahan ordo Trichoptera sebesar 49.77% dan ordo Ephemeroptera sebesar 37.56% dari total individu yang ditemukan. Hasil penelitian lain seperti yang dilakukan oleh Zivic *et al.* (2001) di Sungai Morava Selatan, Fernandez *et al.* (2006) di Sungai Segura, serta Sujati (2017) di Sungai Ciliwung segmen Kebun Raya Bogor yang juga mendapatkan ordo Trichoptera dan Ephemeroptera dengan kelimpahan yang tinggi. Jenis-jenis ini hampir dapat ditemui di semua jenis perairan mengalir karena memiliki daya toleransi yang cukup baik terhadap pencemaran organik sehingga jenis-jenis tersebut sering dijadikan sebagai indikator pencemaran air (Castilio *et al.* 2006; Shiels 2010). Menurut Buss *et al.* (2004), larva Baetidae yang termasuk ordo Ephemeroptera dapat hidup di berbagai substrat yang berbatu sehingga persebarannya menyeluruh di berbagai perairan dan baik digunakan dalam penduga berbagai macam dampak pencemaran. Ordo Ephemeroptera dapat dijumpai pada perairan yang tercemar ‘ringan’ hingga tercemar ‘sedang’ dan tidak dijumpai pada perairan dengan tingkat pencemaran ‘berat’ (Alhejoj *et al.* 2014).

Komposisi famili makrozoobentos memiliki tingkat kesamaan yang semakin tinggi saat jarak pengambilan sampel semakin dekat. Berdasarkan hasil sampling, indeks kesamaan makrozoobentos inlet dengan bagian tengah RTH memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan indeks kesamaan jenis antara inlet dengan outlet, begitu juga dengan nilai indeks antara bagian tengah RTH dengan outlet yang memiliki nilai lebih tinggi. Secara keseluruhan, indeks kesamaan makrozoobentos pada setiap titik sampling dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Indeks kesamaan makrozoobentos

No	Perbandingan	Indeks Kesamaan
1	Inlet – Tengah	88.89%
2	Tengah – Outlet	70.58%
3	Inlet – Outlet	53.33%

Hasil perhitungan indeks kesamaan Sorensen menunjukkan dekatnya dua lokasi pengambilan sampel maka indeks kesamaan semakin tinggi, sekaligus menunjukkan

belum banyak perubahan struktur komunitas karena kondisi kualitas air yang masih relatif sama. Menurut Suin (2002), indeks kesamaan diklasifikasikan menjadi 4 kelompok yaitu sangat tidak mirip ($\leq 25\%$), tidak mirip (25-50%), mirip (50-75%), dan sangat mirip ($\geq 75\%$). Berdasarkan hal tersebut maka indeks kesamaan antara Inlet-tengah RTH memiliki kesamaan tergolong “sangat mirip”, sedangkan tengah RTH-outlet dan inlet-outlet memiliki kesamaan tergolong “mirip”. Kesamaan RTH-outlet dan inlet-outlet berada dalam satu kelompok klasifikasi yaitu tergolong “mirip” tetapi berdasarkan nilai yang didapatkan keduanya sangat jauh berbeda yang menunjukkan bahwa kesamaan RTH-outlet jauh lebih tinggi dari inlet-outlet.

Status Kualitas Air

Perhitungan status kualitas air menggunakan Indeks Kualitas Air (IKA) mengacu *National Sanitation Foundation (National Sanitation Foundation Water Quality Index – NSF-WQI)* pada ketiga titik pengambilan sampel air didapatkan hasil kualitas air pada ketiga titik tersebut termasuk pada kategori “sedang”. Indeks Kualitas Air pada ketiga titik sampling memiliki nilai yang terdapat antara nilai 51-70 yang termasuk kategori “sedang” (Brown *et al.* 1970). Rekapitulasi hasil perhitungan Indeks Kualitas Air pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil perhitungan Indeks Kualitas Air

Lokasi	Indeks Kualitas Air			Rata-rata	Keterangan
	Ulangan				
	1	2	3		
Inlet	57	59	59	58.33	Sedang
RTH	55	59	63	59.00	Sedang
Outlet	62	62	62	62.00	Sedang

Sungai Ciliwung pada segmen Cilebut Timur menunjukkan kualitas air “sedang”, baik pada inlet, bagian tengah maupun inlet RTH. Meskipun termasuk dalam kategori yang sama, nilai Indeks Kualitas Air pada ketiga titik tidak sama. Berdasarkan Indeks Kualitas Air, terjadi peningkatan kualitas air setelah melewati ruang terbuka hijau yang ditunjukkan pada nilai indeks pada inlet sebesar 58.33 dan outlet sebesar 62.00.

Perubahan kualitas air yang ditunjukkan pada Indeks Kualitas Air sesuai dengan perubahan kondisi pada parameter fisik dan kimia. Berdasarkan parameter fisik dan kimia, sebagian besar mengalami peningkatan. Oleh karena itu, Indeks Kualitas Air yang merupakan perhitungan dari setiap parameter mengalami peningkatan kualitas air secara numerik walaupun belum mengalami perubahan kategori status kualitas air.

Indeks Biotik

Indeks biotik dalam penelitian ini merupakan nilai yang didapatkan dari komposisi makrozoobentos dalam perairan. Indeks biotik digunakan karena dianggap mampu mewakili atau mencerminkan kondisi fluktuasi kualitas air pada segmen sungai tersebut. Hal ini dikarenakan makrozoobentos yang hidup menetap pada suatu perairan, memiliki mobilitas yang rendah, serta memiliki hubungan erat dengan kondisi habitat (Hayslip dan Gretchen 2007). Menurut Izmiarti (2010), komunitas dan struktur makrozoobentos yang hidup dalam suatu perairan merupakan hasil adaptasi terhadap perubahan kualitas perairan tersebut. Indeks biotik yang digunakan pada penelitian ini adalah Indeks Biotik

Hilsenhoff (HBI) dan Indeks Keanekaragaman Shannon-wiener (H'). Hasil perhitungan Indeks Biotik pada tiga titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil perhitungan indeks biotik

Lokasi	Indeks Biotik			
	H'	Keterangan	HBI	Keterangan
Inlet	1.342	Tercemar sedang	4.085	Baik sekali
Tengah RTH	1.922	Tercemar ringan	3.811	Baik sekali
Outlet	1.809	Tercemar ringan	3.789	Baik sekali

Pendugaan kualitas air dengan Indeks Keanekaragaman Shannon-wiener menunjukkan tingkat pencemaran dalam suatu perairan. Berdasarkan hasil penelitian, terjadi penurunan tingkat pencemaran air setelah melewati ruang terbuka hijau. Penurunan pencemar tersebut ditunjukkan dari peningkatan nilai Indeks Keanekaragaman dari inlet sebesar 1.342 menjadi 1.809 pada outlet. Perubahan nilai Indeks Keanekaragaman tersebut selain secara numerik juga mengalami peningkatan kategori dari "tercemar sedang" menjadi "tercemar ringan".

Adapun pendugaan kualitas air dengan Indeks Biotik *Hilsenhoff* sebagaimana hasil perhitungan yang tertera pada Tabel 9, terjadi perubahan nilai pada Indeks Biotik *Hilsenhoff* setelah melewati ruang terbuka hijau. Perubahan tersebut merupakan penurunan nilai indeks sebesar 0.296 dimana pada inlet sebesar 4.085 dan pada outlet sebesar 3.789. Perubahan nilai indeks tersebut mengindikasikan terjadinya peningkatan kualitas air walaupun kategori status kualitas air tetap pada kategori "baik sekali". Menurut *Hilsenhoff* (1982), kategori "baik sekali" menunjukkan bahwa pada perairan tersebut sedikit tercemar oleh bahan organik. Kualitas air pada outlet sudah mendekati kategori I yang merupakan kategori "sangat baik" dengan nilai indeks minimal 3.75 atau hanya memiliki selisih 0.039 dengan kualitas air pada outlet.

Indeks Keanekaragaman Shannon-wiener dan Indeks Biotik *Hilsenhoff* memiliki perbedaan pada konsep mengklasifikasi kualitas air. Indeks Keanekaragaman Shannon-wiener hanya memperhitungkan keanekaragaman dan jumlah individu tiap familinya sedangkan Indeks Biotik *Hilsenhoff* memperhitungkan selain famili dan jumlahnya, juga dihitung nilai toleransi dari tiap famili makrozoobentos. Namun demikian walaupun terdapat sedikit perbedaan, pada dasarnya kedua indeks biotik tersebut menunjukkan perubahan kualitas air yang semakin baik ke arah outlet RTH.

Purifikasi Air Sungai Ciliwung Segmen Cilebut Timur

Purifikasi air sungai adalah proses pemurnian atau peningkatan kualitas air sungai baik secara fisik, kimia, atau biotik yang ditentukan oleh beberapa faktor seperti temperatur sungai, kecepatan sungai, bahan-bahan anorganik, dan juga persebaran vegetasi di sepanjang sungai (Ifabiyi 2008). Kualitas air merupakan sifat air dan kandungan makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lainnya dalam air. Secara lebih sederhana kualitas air dapat diartikan sebagai sifat air berdasarkan fisik, kimia, dan biotik yang terkandung di dalam air yang dibatasi oleh baku mutu tertentu. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, kualitas air dinyatakan dalam parameter fisika (suhu, kekeruhan, padatan terlarut, dan sebagainya), parameter kimia (pH, DO, BOD, dan sebagainya), dan parameter biologi (keberadaan plakton, bakteri, hewan air, dan sebagainya).

Berdasarkan hasil penelitian yang dianalisis pada Indeks Kualitas Air, Indeks Keanekaragaman Shannon-wiener (H'), dan Indeks Biotik Hilsenhoff (HBI) menunjukkan adanya peningkatan kualitas air Sungai Ciliwung segmen Cilebut Timur sebelum dan setelah melewati ruang terbuka hijau. Hal ini menunjukkan peranan ruang terbuka hijau di sempadan sungai dapat meningkatkan kualitas air sungai yang melewatinya.

Purifikasi terdiri dari proses sedimentasi material padat dan oksidasi material terlarut (Chooper *et al.* 1919). Proses purifikasi atau peningkatan kualitas air sungai melibatkan proses fisik, kimia, dan biologi. Proses purifikasi secara fisik diantaranya adanya mengenceran, penguraian, dan pemecahan zat pencemar dalam air secara mekanis seperti karena adanya kecepatan arus beragam sepanjang aliran sungai dan keberadaan bebatuan pada sungai. Sesuai dengan Unesco (1982) yang menyatakan bahwa turbulensi permukaan dapat meningkatkan penguraian bahan pencemar. Proses purifikasi secara kimia dipengaruhi besar oleh keberadaan oksigen di dalam air. Keberadaan oksigen di dalam air mempengaruhi proses oksidasi yang akan terjadi pada suatu segmen perairan tertentu. Proses oksidasi merupakan interaksi oksigen dengan zat lain termasuk pencemar. Keberadaan proses oksidasi dapat menyebabkan bahan pencemar baik organik maupun anorganik yang masuk ke badan air yang sulit terdegradasi menjadi lebih cepat terdegradasi. Keberadaan oksigen juga berkaitan dengan purifikasi secara biologi. Keberadaan oksigen pada air sangat berpengaruh pada kehidupan makhluk hidup di air. Semakin banyak makhluk hidup yang ada maka kebutuhan oksigen semakin tinggi serta penurunan oksigen yang besar karena konsumsi oksigen oleh makhluk hidup di perairan tersebut. Pada penelitian ini, makrozoobentos merupakan faktor biotik yang digunakan. Makrozoobentos digunakan karena jenis organisme yang menyusun komunitas beragam, mobilitas yang rendah, dan prosedur pengambilan contoh telah dikembangkan dengan baik (Soegiarto 2004; Hayslip dan Gretchen 2007).

Ruang terbuka hijau di sempadan sungai dapat menjadi penyangga bagi ekosistem sungai. Penyangga ekosistem sungai diantaranya dalam mengoptimalkan proses purifikasi air sungai. Pada dasarnya, air sungai memiliki kemampuan pemulihan diri (*self-purification*), keberadaan ruang terbuka hijau di sempadan sungai dapat mengoptimalkan kemampuan tersebut dengan mencegah adanya masukan pencemar secara langsung dari sumber-sumber pencemar terutama limbah domestik ke aliran sungai. Berbeda dengan kondisi sempadan sungai tanpa RTH, berupa pemukiman yang menyebabkan masuknya limbah rumah tangga ke aliran sungai melalui saluran-saluran kecil. Sesuai dengan pernyataan Elosegui *et al.* (1995) dan Hubacikova *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa kemampuan purifikasi lebih efektif setelah melewati ruang terbuka hijau seperti hutan atau semak belukar. Hasil analisis vegetasi ruang terbuka hijau yang ada merupakan kebun dan hutan bervegetasi rendah berdasarkan data *leaf area index*.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil analisis kualitas air Sungai Ciliwung segmen Cilebut Timur menunjukkan kondisi status kualitas air “sedang” berdasarkan Indeks Kualitas Air pada hulu, tengah dan hilir RTH. Berdasarkan indeks keanekaragaman makrozoobentos, pada segmen ini memiliki status kualitas air “tercemar sedang” pada hulu ruang terbuka hijau dan

“tercemar ringan” pada tengah dan hilir RTH. Berdasarkan Indeks Biotik Hilsenhoff, pada hulu, tengah, dan hilir RTH memiliki status kualitas air “baik sekali” yang menunjukkan bahwa hanya terdapat sedikit pencemar organik.

Ruang terbuka hijau di sempadan Sungai Ciliwung segmen Cilebut Timur memiliki peranan dalam pemulihan kualitas air sungai yang melewatinya. Hal ini dibuktikan oleh perubahan nilai pada Indeks Kualitas Air, Indeks Keanekaragaman, dan Indeks Biotik Hilsenhoff yang mengalami perubahan nilai menjadi lebih baik setelah melewati RTH. Berdasarkan Indeks Kualitas Air, terdapat perubahan nilai dari 58.33 pada hulu menjadi 62.00 pada hilir RTH (selisih 3.67). Berdasarkan Indeks Keanekaragaman, terdapat perubahan nilai dari 1.342 pada hulu dan 1.809 pada hilir RTH (selisih 0.467) yang juga merubah status dari “tercemar sedang” menjadi tercemar ringan”. Berdasarkan Indeks Biotik Hilsenhoff, terdapat perubahan nilai dari 4.085 pada hulu menjadi 3.789 pada hilir RTH (selisih 0.296).

Saran

Perlu dilakukan perbaikan sempadan sungai untuk pembangunan ruang terbuka hijau sebagai upaya peningkatan kualitas air sungai secara alami. Selain itu, perlu dilakukan penelitian serupa di lokasi lain untuk membandingkan tingkat purifikasi tiap lokasi berdasar berbagai kondisi fisik dan tingkat pencemaran airnya, sehingga faktor-faktor yang terkait dapat dibuat menjadi suatu pemodelan dalam rumusan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhejoj I, Salameh E, Bandel K. 2014. Mayflies (Order : Ephemeroptera): an effective indicator of water bodies condition in Jordan. *International Journal of Scientific Research in Environmental Science*. 2(10): 361-370.
- Asdak C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Badan Pusat Statistik. 2017. Status Kualitas Air Sungai 2014-2017 [Internet]. [Diakses pada 27 Apr 2017]. [Tersedia pada <http://www.bps.go.id/linktabelstatis/view/id/1372>]
- Brown RM, McClelland NI, Dininger RA, Tozer RG. 1970. A water quality index- do we dare?. *Water and Sewage Works*. 1(1): 339-343.
- Buss DF, Baptista DF, Nessimian NJ, Egler M. 2004. Substrate specificity, environmental degradation and disturbance structuring macroinvertebrate assemblages in neotropical streams. *Hydrobiologia*. 518:179-188.
- Castillo LE, Martinez E, Ruepert C, Savage C, Gilek M, Pinnock M, Soils E. 2006. Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide application in banana plantation, Limon Costa Rica. *Science of Total Environment*. 367: 418-432.
- Chooper AD, Chooper EA, Heward JA. 1919. On the self-purification of stream and river. *Biochemical Journal*. 13(4):345-367.
- Elosegui A, Arana X, BasageurenA, Pozo J. 1995. Environmental auditing self purification processes along mediu sized stream. *Environmental Management*. 19(6): 931-939.
- Fernandez SD, Abellan P, Mellado A, Millan A. 2006. Are water beetles good indicator of biodiversity in Meditterrain aquatic ecosystem? : the case of the Segura River basin (SE Spain). *Biodiversity and Conservation*. 15: 4501-4520.

- Hayslip, Gretchen. 2007. *Methods for the Collection and Analysis of Benthic Acroinvertebrate Assemblages in Wadeable Streams of the Pacific Northwest*. Washington(US): Pacific Northwest Aquatic Monitoring Partnership.
- Hilsenhoff WL. 1982. *Using a Biotic Index to Evaluate Water Quality in Streams*. Madison (US): Department of Natural Resources.
- Hubacikova V, Opletova P, Zokustka K, Vetrakova V. 2014. Evaluating of polluting sources and self-cleaning ability of water flow in relation to landuse. *Agriculture and Forestry*. 6(4): 67-72.
- Ifabiyi IP. 2008. Self purification of a fresh water stream in Ile-Ife: lesson for water management. *Jurnal Humaniora and Ecology*. 24(2):131-137.
- Izmiarti. 2010. Komunitas makrozoobentos di Banda Bakali Kota Padang. *Biospectrum*. 6 (1): 34-40.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Jakarta(ID) : Kementrian Lingkungan Hidup.
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2010. *Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2009*. Jakarta (ID): Asisten Deputi Urusan Data dan Informasi Lingkungan Kementrian Lingkungan Hidup.
- Lee, C.D. Wang, S.B. Kud, C.L. 1978. Bentic Macro Invertebrata and Fish as Biological Indicator of Water Quality with Refrence to Community Diversity Index. Taiwan Water Pollution Agency. Taicung. Taiwan.
- Lee CD. 1978. Benthic macroinvertebrates and fish as biological indicators of water quality, with reference to community diversity index. Di dalam: Panswad T, Polprasert C, Yamamoto K, editor. *International Conference on Water Pollution Control in Developing Countries*; 1978 Jan 9-11; Bangkok, Thailand. Bangkok (TH): Pergamon.hlm 172.
- Macon TT. 1974. *Freshwater Ecology*. New York (US): John Wiley & Sons.
- Magurran AE. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Malden (US): Blackwell.
- Odum EP. 1988. *Dasar-dasar Ekologi Edisi 3*. Yogtakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Ott WR. 1978. *Environmental Indiches : Theory and Practice*. Michigan(US): Ann Arbor Science.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta(ID): Pemerintah Republik Indonesia
- Pemerintah Republik Indonesia. 2011. Peraturan Pemerintah RI Nomor 38 Tahun 2011 Tentang Sungai. Jakarta(ID): Pemerintah Republik Indonesia
- Shiels DR. 2010. Implementing landscape indiche to predict stream water quality in a agricultural setting: an assesment of the lake and river enchacement (LARE) protocol in Mississinewa watershed, East-Central Indiana. *Ecological Indicator*. 10: 1102-1110.
- Soegianto A. 2004. *Metode Pendugaan Pencemaran Air dengan Indikator Biologis*. Surabaya (ID) : Airlangga University Press.
- Suin N. 2002. *Metode Ekologi*. Padang (ID): Universitas Andalas
- Sujati AB. 2017. Purifikasi Sungai Ciliwung di Segmen Kebun Raya Bogor, Kota Bogor [Skripsi]. Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.

- Turner DP, Cohen WB, Kennedy RE, Fassnacht KS, Briggs JM. 1999. Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites. *Remote Sensing of Environment*. 70: 52-68.
- Unesco. 1982. *Dispersion and Self-purification of Pollutants in Surface Water System*. Paris(FR): United Nation Education, Scientific, and Cultural Organization
- Wiwoho. 2005. Model identifikasi daya tampung beban cemaran sungai dengan QUAL2E [tesis]. Semarang (ID): Universitas Diponegoro.
- Zivic I, Markovic Z, Brajkovic M. 2001. Makrozoobentos in the Pusta Reka river, left tributary of the south Morava river. *Biological Science*. 53(3-4): 109-122.