

Cryptosporidium sebagai Indikator Biologi dan Indeks Nsf-Wqi untuk Mengevaluasi Kualitas Air (Studi Kasus: Hulu Sungai Citarum, Kabupaten Bandung)

Tastptyani Kurnia Nufutomo¹, dan Barti Setiani Muntalif²

¹) Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sumatera Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan 35365

²) Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No.10, Lb. Siliwangi, Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132
E-mail: tastptyani@gmail.com

Abstrak

Kualitas air yang menurun di Hulu Sungai Citarum dapat disebabkan oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut dapat diketahui dari parameter fisika, kimia dan biologi. Parameter biologi yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas air adalah mikroorganisme patogen yang menimbulkan penyakit di sistem pencernaan seperti diare akut, yaitu Coliform dan Cryptosporidium. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui status kualitas air di Hulu Sungai Citarum dengan indeks kualitas air NSF-WQI, mengetahui hubungan dan pengaruh parameter fisik dan kimia air terhadap parameter biologi, menentukan faktor utama dari parameter air yang paling berpengaruh dan mengetahui hubungan serta pengaruh faktor utama tersebut terhadap Cryptosporidium. Metode yang digunakan adalah mengambil sampel di tiap stasiun dengan composite, mengidentifikasi dan analisis Coliform dengan MPN dan identifikasi Cryptosporidium dengan Ziehl Neelsen staining, kemudian menganalisis parameter kimia dan fisika dengan indeks NSF-WQI, lalu data tersebut diolah menggunakan metode statistik PCA. Hasil pengukuran kualitas air berdasarkan NSF-WQI adalah kualitas air di Hulu Sungai Citarum termasuk kategori buruk dan medium. Keberadaan Cryptosporidium di Hulu Sungai Citarum disebabkan oleh 2 (dua) faktor utama, yaitu faktor pertama terdiri dari DO, turbiditas, NO₂, NH₄ dan total Coliform, sedangkan faktor kedua terdiri dari TSS, COD dan PO₄. Kedua faktor tersebut tidak signifikan dengan keberadaan Cryptosporidium di Hulu Sungai Citarum.

Kata kunci: Cryptosporidium, Hulu Sungai Citarum, Indeks NSF-WQI, Kualitas Air

Abstract

The decreased water quality in the upstream of Citarum River can be caused by many factors. The parameter of physical, chemical and biological can be used to determine the causal factors of the diminishing water quality. The two biological parameters used are the Coliform and the Cryptosporidium which are the pathogenic microorganisms causing the disease in the digestive system such as acute diarrhea. The aims of this study were to determine the water quality status using National Sanitation Foundation-Water Quality Index (NSF-WQI), determine the correlation and the influence of the parameter of physical and chemical with the biological parameter, determine the main causal factors of water parameter that most influence the Cryptosporidium population, and determine the correlation and the influence of the main causal factors of water parameter against the Cryptosporidium population. The methods of this research are water sampling from each stations using composite sampling technique, the MPN technique to identify and analyze the Coliform, the Ziehl Neelsen staining technique to identify the Cryptosporidium, the NSF-WQI to analyze the water physical and chemical parameters, and the statistical method of PCA. According to NSF-WQI results the water quality in the upstream of Citarum River is lied within medium category and bad category. The presence of Cryptosporidium in the upstream of Citarum River is caused by two main factors. The first main causal factors are influenced by DO, turbidity, NO₂, NH₄ and Coliform total, and the second main factors are influenced by TSS, COD, and PO₄. Although these factors formed are not significant with the presence of Cryptosporidium in the upstream Citarum River.

Keywords: Cryptosporidium, NSF-WQI Index, Upstream Citarum River, Water Quality

PENDAHULUAN

Sungai Citarum merupakan sungai terpanjang dan terbesar di provinsi Jawa

Barat yang sangat mempengaruhi kehidupan masyarakat disekitarnya. Sungai Citarum mengalir dari hulu Gunung Wayang

selatan, Kota Bandung, dan bermuara di laut Jawa. Saat ini terjadi penurunan kualitas air di Sungai Citarum dimana aliran air sungai tersebut melewati daerah pemukiman, peternakan dan pertanian, yang berkontribusi atas masuknya limbah dari hasil kegiatan antropogenik ke dalam aliran sungai (Muntalif dkk., 2008).

Air sungai yang terkontaminasi oleh limbah yang berupa feses dari hasil ekskresi manusia dan hewan dapat turun kualitasnya. Hal ini disebabkan oleh mikroorganisme patogen yang berada di badan air sungai dan dapat menjadi indikasi penyebab dari penyakit saluran pencernaan. Mikroorganisme patogen yang ditemukan di badan air selain *Coliform* adalah protozoa *Cryptosporidium*. Jika mengkonsumsi air yang tercemar oleh oosit protozoa *Cryptosporidium*, maka mikroorganisme ini dapat menyerang sistem pencernaan manusia secara akut hingga berefek kematian (Sunnotel dkk., 2006). Transmisi oosit protozoa *Cryptosporidium* bersumber dari emisi air limbah yang berupa hasil ekskresi manusia ataupun hewan, dan dari pengelolaan air limbah dan emisi nonpoint yang berupa air limpasan hujan yang membawa buliran tanah ke badan air (Hofstra dkk., 2013).

Menurut Baldurson S., dan Karanis P (2011) berdasarkan laporan dari setiap negara pada periode Januari 2004 hingga Desember 2010, parasit protozoa *Cryptosporidium* merupakan salah satu wabah penyakit pada manusia dan salah satu agen parasit yang terbesar di badan air di seluruh dunia dengan presentase 60,3%. Hal ini diikuti oleh *Giardia lamblia* sebesar 35,2% dan protozoa lainnya sebesar 4,5%. Wabah parasit *Cryptosporidium* terbesar terjadi di Milwaukee, Amerika Serikat, pada tahun 1993, dimana saat itu terdapat 400.000 orang terjangkit oleh parasit *Cryptosporidium* yang mengkontaminasi sumber air minum yang diduga kurangnya perawatan dan pengelolaan di bagian *water treatment plantnya* (Lisle dan Rose, 1995). Di Thailand protozoa *Cryptosporidium* dan *Giardia* ditemukan didalam sampel yang diambil dari waduk, sungai, dan penelitian ini merupakan langkah awal dan saran untuk mengontrol kualitas air di sumber-sumber air demi kesehatan dan keselamatan masyarakat Thailand (Srisuphanunt dkk., 2010). Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas air di hulu Sungai Citarum, Kabupaten Bandung, dan mengetahui faktor utama yang paling berpengaruh dari parameter kualitas air terhadap keberadaan

Cryptosporidium di hulu Sungai Citarum. Tujuan penelitian ini: (1) mengetahui status kualitas air di hulu Sungai Citarum dengan NSF-WQI, (2) mengetahui hubungan dan pengaruh parameter fisika dan kimia air terhadap parameter biologi air (bakteri *Coliform* dan protozoa *Cryptosporidium*), (3) menentukan faktor utama dari parameter-parameter kualitas air yang paling berpengaruh terhadap *Cryptosporidium*, dan (4) mengetahui hubungan serta pengaruh faktor utama yang telah ditentukan terhadap *Cryptosporidium* di perairan hulu Sungai Citarum.

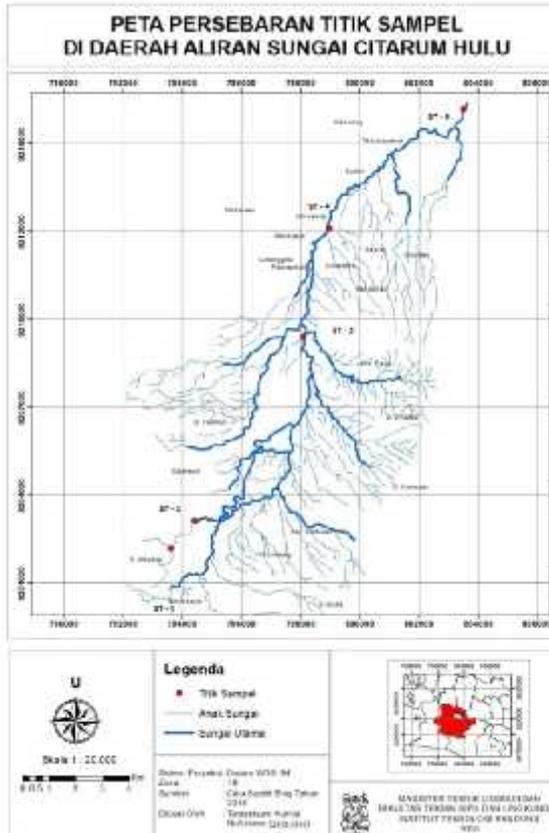
METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi sampling penelitian berada di aliran sungai Citarum bagian hulu, yaitu dari Situ Cisanti hingga ke desa Wangisagara. Lima stasiun pengambilan sampel air diantaranya yaitu Situ Cisanti, aliran sungai di kampung Cikitu, aliran sungai di kampung Babakan, aliran sungai di Maruyung dan aliran Sungai di Wangisagara. Peta lokasi terlihat pada **Gambar 1**. Sebelum penelitian dilakukan, studi literatur dan survei lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi masalah. Setelah itu dilakukan analisis kualitas air berdasarkan parameter fisika, kimia dan biologi pada sampel air di lima stasiun pengambilan sampel tersebut.

Pengambilan sampel air dilakukan menggunakan metode *composite sampling* dengan volume air sebanyak ± 1 Liter. Selain itu, pengambilan sampel air lainnya dilakukan sebanyak 1 ml dan harus diawetkan menggunakan H_2SO_4 serta didinginkan pada suhu $4^{\circ}C$. Pengukuran parameter fisika kualitas air dapat diukur secara *in situ* dan parameter kimia lainnya dapat diukur secara *in situ* dan secara *ex situ* di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Lingkungan dan Sipil, ITB. Pengambilan sampel air untuk biologi dilakukan dengan cara *random sampling*. Untuk bakteri *coliform*, proses sampling dilakukan dengan cara memasukkan air ke dalam botol steril bervolume 100 ml. Sedangkan untuk protozoa *Cryptosporidium*, proses sampling dibantu dengan menggunakan alat *plankton net* berukuran *mesh* sebesar $30\mu m$, yang proses penyaringannya dilakukan secara vertikal dan horizontal dengan volume air sebanyak 100 L. Hasil saringan tersebut dimasukkan ke dalam botol sampel 20 ml dan diberikan iodine sebanyak 5 tetes dan 1 ml formalin 4%.

Sampel-sampel air ini akan dianalisis di Laboratorium Mikrobiologi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik

Lingkungan dan Sipil, ITB. Analisis parameter kualitas air tersebut dilakukan sesuai dengan *standard methods for the examination of water and waste water* (APHA, 2012) dan selanjutnya hasil tersebut akan dibandingkan dengan baku mutu kualitas air di Indonesia, yaitu PP No. 82 tahun 2001.



Gambar 1. Peta lokasi *sampling* di Hulu Sungai Citarum (Faza, 2015)

Analisis bakteri *Coliform* dilakukan dengan menggunakan metode MPN (*most probable number*), yaitu menghitung jumlah perkiraan terdekat bakteri. Analisis ini dilakukan dengan cara melakukan tiga tahapan uji, diantaranya adalah uji pendugaan (*presumptive test*), uji penetapan (*confirmed test*) dan uji kelengkapan (*complete test*). Uji pendugaan dilakukan dengan tujuan untuk menentukan kehadiran bakteri golongan coli dan untuk mendapatkan indeks atau nilai jumlah perkiraan terdekat organisme golongan coli dari sampel air. Uji pendugaan dilakukan dengan menggunakan media kaldu laktosa dan tabung durham yang setelah itu diinkubasi pada suhu 35°C dalam waktu 1 hingga 2 x 24 jam. Uji penetapan dilakukan dengan tujuan untuk memastikan kehadiran bakteri golongan coli pada sampel air yang telah memberikan hasil positif pada uji pendugaan sebelumnya. Uji ini

menggunakan media EMB dan diinkubasi pada suhu 35°C dalam waktu 1–2 x 24 jam. Uji kelengkapan dilakukan untuk mengkonfirmasi bakteri golongan coli dalam sampel air dan merupakan uji terakhir sampel air. Uji ini menggunakan media ECB dan diinkubasi pada suhu 44°C selama 1–2 x 24 jam.

Protozoa *Cryptosporidium* akan diidentifikasi dengan cara modifikasi pewarnaan asam dari *Ziehl Neelsen* dan kemudian dilakukan perhitungan jumlah protozoa pada sampel tersebut. Sebelum dilakukan pewarnaan, sampel air akan dibuat apusan terlebih dahulu di kaca preparat. Setelah itu apusan melalui proses pewarnaan asam dengan bahan karbol fuchsian (campuran antara *Basic fuchsin*, 0,3 gr, ethanol 95%, 10 ml, dan fenol 5 ml). Setelah dilakukan pewarnaan, apusan (*smear*) dilidhapikan di atas bunsen selama ±1 menit dengan catatan tidak terlalu panas dalam memanaskannya, yaitu sampai terlihat uap (*vapour*) dari karbol fuchsinnya saja. Setelah itu, apusan dibilas dengan aquadest dan diberikan *decolorizing solvent* (ethanol 95%, 0,3 gr, dan HCl terkonsentrasi) sebanyak 3 ml, lalu dibilas kembali dengan aquadest. Tahap terakhir adalah memberikan pewarna *counterstain* (*methylene blue chloride*, 0,3 gr, dan *distilled water*, 100 ml). Setelah itu tunggu sekitar 20-30 detik sampai warna menyerap, dan bilas dengan aquadest kembali.

Metode pewarnaan ini memiliki kelebihan dan juga kekurangannya. Metode *Ziehl Neelsen Stain* merupakan metode pewarnaan asam sederhana yang mudah dilakukan, namun memiliki kapasitas sensitivitas yang rendah atau tidak spesifik dalam identifikasinya sehingga dapat mewarnai parasit protozoa lainnya seperti *Isopora* dan *Cyclospora* (Sunnotel dkk., 2006).

Indeks kualitas air digunakan untuk menentukan kualitas perairan berdasarkan parameter fisika dan kimia secara deskriptif berdasarkan angka indeks (Persamaan 1) dengan menggunakan metode NSF-WQI (Margarof, 2007). Setelah diketahui indeks nya, kisaran nilai bobot NSF-WQI dan kriteria dari kualitas lingkungan akan dapat diketahui (Oram, 2004).

$$NSF = \sum_{i=1}^n w_i \cdot I_i \quad (\text{Persamaan 1})$$

Dimana, NSF adalah hasil indeks kualitas air dengan skala 0-100; w_i adalah konstanta pembobot ke- i yang diperoleh dengan menggunakan bobot yang telah diterapkan oleh NSF-WQI; I_i merupakan nilai sub

indeks karakteristik ke-i yang diperoleh dengan menggunakan sub-indeks yang diterapkan oleh NSF-WQI.

Analisis data secara statistik dilakukan dengan menggunakan software SPSS ver.22. Langkah pertama untuk mengetahui hubungan variabel bebas dan variabel terikat dilakukan dengan menggunakan metode korelasi pearson dan spearman. Korelasi pearson digunakan untuk menduga adanya hubungan parameter fisika dan kimia dari kualitas air dengan parameter biologi, dengan syarat data yang digunakan berdistribusi normal. Korelasi spearman digunakan untuk mendeskripsikan hubungan dua variabel tanpa adanya asumsi distribusi frekuensi dan data yang digunakan berdistribusi normal. Langkah kedua adalah mengetahui faktor utama dengan cara menggunakan analisa komponen utama (PCA). PCA bertujuan untuk memberikan ringkasan informasi dari banyak variabel menjadi sedikit variabel dan dapat menjelaskan hubungan diantara variable-variabel tersebut. Langkah terakhir adalah untuk mengetahui pengaruh dari faktor utama, yaitu variabel bebas (independen), dengan variabel tak bebas (dependen) *Cryptosporidium* dengan menggunakan metode regresi linear berganda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Fisika dan Kimia Perairan Sungai

Berikut merupakan hasil pengukuran parameter fisika dan kimia perairan sungai yang dapat dilihat di **Tabel 1**. Berdasarkan tabel tersebut, nilai parameter fisika dan kimia telah berada diatas nilai baku mutu kualitas air PP. 82 tahun 2001 kategori kelas 2. Nilai kecepatan arus di stasiun sampling berkisar 0,3 m/s–1,03 m/s. Kecepatan arus dapat mempengaruhi jenis substrat dasar perairan sungai, dimana substrat tersebut dapat

digunakan untuk menentukan densitas dari oosit *Cryptosporidium* (Faza, 2015).

Nilai suhu di stasiun sampling berkisar antara 22,64°C–26,43°C. Nilai suhu yang tinggi di stasiun sampling dapat disebabkan oleh vegetasi riparian yang minim dan mengakibatkan tingginya intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam air, sehingga dapat mempengaruhi reaksi kimia air dan menurunkan kualitas air (Faza, 2015). Oosit *Cryptosporidium* dapat bertahan lama di suhu air yang dingin dan sejuk, yaitu berkisar dari -10°C–27°C (Fayer dkk., 1998).

Nilai TSS pada semua stasiun sampling berkisar antara 263 mg/l–672 mg/l. Nilai TSS tinggi dapat disebabkan oleh masuknya partikulat yang berasal dari riparian yang telah mengalami tata guna lahan seperti ladang pertanian (Faza, 2015). TSS tinggi dapat meningkatkan keberadaan oosit *Cryptosporidium* di perairan (Atherholt dkk., 1998).

Nilai kekeruhan pada semua stasiun sampling berkisar antara 12,2 NTU–47,5 NTU. Nilai kekeruhan tinggi dipengaruhi oleh perbedaan kecepatan arus air sungai di setiap stasiun. Pengaruh arus yang lambat akan menyebabkan akumulasi materi-materi padatan tersuspensi semakin besar (Faza, 2015). Kekeruhan yang tinggi mempengaruhi peningkatan jumlah oosit *Cryptosporidium* di perairan (Atherholt dkk., 1998). Nilai debit pada semua stasiun berkisar antara 0,03 m³/s–2,03 m³/s. Nilai debit tinggi diperkirakan karena air limpasan permukaan dan curah hujan.

Nilai pH pada semua stasiun berkisar antara 7,78–8,16. Nilai pH tinggi dapat diperkirakan karena suhu, fotosintesis, respirasi, DO, dan keberadaan ion-ion (Izzati, 2008). Nilai pH untuk biota akuatik dapat hidup di perairan berkisar 7–8,5 bersifat netral dan alkali, oleh karena itu oosit *Cryptosporidium* dapat hidup di perairan.

Tabel 1. Parameter fisika dan kimia

Parameter	Unit	Batas baku mutu Kelas 2 PP No.82 Th.2001	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	Keterangan
Kecepatan arus	m/s	-	0,41	0,30	0,96	1,03	0,45	-
Suhu	°C	Deviasi 3	26,43	23,39	22,64	23,71	24,71	Deviasi suhu dari keadaan ilmiah untuk pengolahan air minum 5000 mg/l
TSS	mg/l	50	263	672	333	356	378	-
Kekeruhan	NTU	15	12,2	47,5	30,2	28,3	19,9	-

Parameter	Unit	Batas baku mutu Kelas 2 PP No.82 Th.2001	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	Keterangan
Debit	m ³ /s	-	0,03	0,13	0,13	2,03	1,56	-
pH	-	6-9	8,16	7,78	8,06	8,05	7,78	-
BOD	mg/l	3	6,1	6,24	3,16	2,65	4,61	-
COD	mg/l	25	26,24	105,18	2,42	26,33	33,68	-
DO	mg/l	4	10,68	5,59	6,69	7,83	8,07	Angka batas minimum
PO ₄	mg/l	0,2	2,37	2,73	2,42	2,43	2,39	-
NH ₄	mg/l	-	7,81	8,14	7,85	7,84	7,82	Kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka 0,02 mg/l
NO ₃ -N	mg/l	10	29,09	30,19	32,62	3,61	29,36	-
NO ₂ -N	mg/l	0,06	0,664	0,687	0,682	0,679	0,663	Untuk pengolahan air minum 1 mg/l

Nilai BOD pada semua stasiun berkisar antara 2,65 mg/l–6,24 mg/l. Nilai BOD tinggi dapat diperkirakan karena banyaknya senyawa organik di dalam perairan karena proses dekomposisi.

Nilai COD pada semua stasiun berkisar antara 2,42 mg/l–105,18 mg/l. Nilai COD tinggi dapat disebabkan oleh banyaknya bahan-bahan pencemar yang masuk ke dalam perairan khususnya limbah rumah tangga, limbah pertanian, dan limbah peternakan.

Nilai DO pada semua stasiun berkisar antara 5,59 mg/l–10,68 mg/l. Nilai DO dapat dipengaruhi dari proses fotosintesis, suhu, dan agitasi. Nilai PO₄ pada semua stasiun berkisar antara 2,37 mg/l–2,73 mg/l. Nilai akumulasi fosfat di perairan ini dapat disebabkan dari kegiatan pertanian dan peternakan.

Nilai NO₃-N pada semua stasiun berkisar antara 29,09 mg/l – 32,62 mg/l. Tingginya nitrat diakibatkan dari limbah pertanian baik cair atau padat yang masuk ke badan air. Nilai NH₄ pada semua stasiun berkisar antara 7,81 mg/l – 8,14 mg/l. Tinggi rendah amonia dipengaruhi dari banyaknya kandungan senyawa organik yang diurai oleh bakteri yang tidak dapat teroksidasi menjadi nitrit dan nitrat.

Nilai NO₂-N pada semua stasiun berkisar antara 0,663 mg/l – 0,687 mg/l. Tinggi rendahnya nitrit dapat disebabkan dari DO, suhu, pH, konsentrasi amonia dan nitrat, dan waktu retensi yang dibutuhkan bakteri untuk merombak amonia.

Parameter Biologi

Pada **Gambar 2** dapat dilihat hasil pengukuran untuk parameter biologi di Hulu

Sungai Citarum. Di lokasi 1 nilai rata-rata jumlah *Total Coliform* dan *Fecal Coliform* adalah 327 MPN/100 ml dan 115 MPN/100 ml, untuk oosit *Cryptosporidium* adalah 211 sel/100L. Pada lokasi 2 terlihat peningkatan jumlah *Total Coliform* dan *Fecal Coliform*, masing-masing nilainya adalah 1100 MPN/100 ml dan 357 MPN/100 ml. Namun, terjadi penurunan jumlah oosit *Cryptosporidium* dengan jumlah rata-rata 169,5 sel/100L. Pada lokasi 3, ketika *Total Coliform* menurun jumlahnya, yaitu 741 MPN/100ml, jumlah oosit *Cryptosporidium* meningkat dengan jumlah rata-rata 508.375 sel/100L, serta jumlah *Fecal Coliform* meningkat dengan jumlah rata-rata 423 MPN/ 100ml. Pada lokasi 4 semua parameter mengalami penurunan. Jumlah rata-rata untuk masing-masing parameter adalah 464 MPN/100ml untuk total *Coliform*, 228 MPN/100ml untuk *Fecal Coliform*, dan 458 sel/100L untuk oosit *Cryptosporidium*. Pada lokasi terakhir, yaitu stasiun 5, jumlah *Total Coliform* dan *Fecal Coliform* mengalami penurunan, namun jumlah oosit *Cryptosporidium* mengalami peningkatan. Jumlah oosit *Cryptosporidium* tersebut adalah 679.375 sel/100L. Sedangkan jumlah rata-rata untuk total *Coliform* adalah 332 MPN/100L dan untuk *Fecal Coliform* adalah 239 MPN/100ml. Perbedaan dalam parameter biologi di setiap stasiun dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Thurman dkk. (1998) mengatakan bakteri *Coliform* tidak memiliki pengaruh terhadap *Cryptosporidium* di badan air. Hal ini disebabkan oleh *Cryptosporidium* dapat terisolasi di sedimen dan tersuspensi, atau terdapat pada air limpasan yang membawa tanah yang terkontaminasi dengan kotoran hewan atau

manusia, serta adanya pengadukan yang terjadi dari kolom air ke badan air oleh aliran sehingga menyebabkan sedimen terdistribusi dan meningkatkan kekeruhan di perairan.

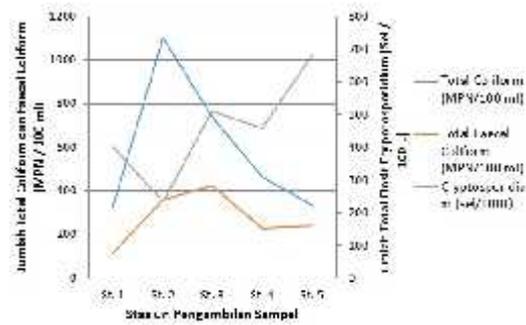
Penilaian Kualitas Air Berdasarkan NSF-WQI

Gambar 3 menunjukkan indeks kualitas air (NSF-WQI) hulu Sungai Citarum pada setiap stasiun sampling ke dalam kategori buruk dan kategori sedang. Nilai indeks pada tiap stasiun berkisar antara skala 47,65 – 59,47. Jika semakin tinggi nilai NSF-WQI, maka semakin baik kualitas perairan tersebut. Sedangkan, jika nilai tersebut rendah, maka semakin buruk kualitas perairan tersebut. Kondisi perairan yang buruk dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi perairan yang akan mempengaruhi kehidupan perairan sekitar.

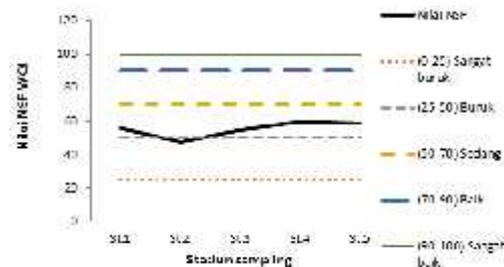
Hubungan Parameter Fisika dan Kimia Air Terhadap Parameter Biologi

Pada **Tabel 3** nilai korelasi parameter fisikokimia terhadap parameter *Total Coliform* dan *Faecal Coliform* menunjukkan hasil yang lebih signifikan dibandingkan dengan korelasi parameter fisikokimia terhadap parameter *Cryptosporidium*. Parameter fisikokimia yang menunjukkan hasil yang signifikan terhadap *Total Coliform* adalah DO, turbiditas, COD, NO₂ dan PO₄, sedangkan untuk *Faecal Coliform* adalah DO. Nilai korelasi DO untuk *Total Coliform* dan *Faecal Coliform* memiliki nilai negatif dibandingkan dengan nilai korelasi fisikokimia lainnya. Nilai negatif ini menunjukkan bahwa adanya hubungan yang berbanding terbalik antara DO terhadap *Total Coliform* dan *Faecal*

Coliform.



Gambar 2. Jumlah oosit *Cryptosporidium* di Hulu Sungai Citarum



Gambar 3. Grafik NSF-WQI Hulu Sungai Citarum

Faktor-Faktor Kualitas Air yang Mempengaruhi *Cryptosporidium*

Terdapat dua factor utama yang mempengaruhi keberadaan *Cryptosporidium*. Faktor ini ditentukan dari nilai *eigen value* dengan nilai faktor kesatu (F1) sebesar 62,703% dan faktor kedua (F2) sebesar 78,263%. Kedua faktor tersebut dianggap sudah cukup mewakili variabel parameter air terhadap keberadaan *Cryptosporidium*. Masing-masing faktor tersebut memiliki *loading factor* yang didapat dari nilai *rotated component matrix*. Sehingga, faktor pertama dipengaruhi oleh DO, Turbiditas, NO₂, NH₄ dan total *Coliform*, sedangkan untuk faktor kedua dipengaruhi oleh TSS, COD dan PO₄.

Tabel 2. Nilai korelasi pearson fisikokimia terhadap parameter biologi

Parameter	<i>Total Coliform</i>		<i>Faecal Coliform</i>		<i>Cryptosporidium</i>	
	Nilai Korelasi	Nilai Signifikan	Nilai Korelasi	Nilai Signifikan	Nilai Korelasi	Nilai Signifikan
Kecepatan arus	-1,07	0,654	-0,333	0,151	0,102	0,669
Debit	-0,210	0,375	-0,233	0,322	0,344	0,137
Suhu	-0,406	0,076	0,001	0,996	-0,277	0,236
Turbidity	0,658	0,002	0,233	0,322	0,040	0,866
pH	-0,350	0,130	-0,022	0,928	0,016	0,946
DO	-0,759	0,000	-0,564	0,010	-0,136	0,568
TSS	0,234	0,321	0,402	0,079	0,025	0,918
BOD	0,184	0,438	0,064	0,789	0,027	0,912

Parameter	Total Coliform		Faecal Coliform		Cryptosporidium	
	Nilai Korelasi	Nilai Signifikan	Nilai Korelasi	Nilai Signifikan	Nilai Korelasi	Nilai Signifikan
COD	0,601	0,005	0,251	0,286	-0,233	0,324
NO ₃	0,162	0,496	-0,145	0,542	0,036	0,880
NO ₂	0,708	0,000	0,423	0,063	0,250	0,288
NH ₄	0,795	0,000	0,364	0,115	0,004	0,986
PO ₄	0,627	0,003	0,407	0,075	0,016	0,946

Tabel 3. Hasil uji regresi untuk *Cryptosporidium*

Model	Coefficients ^a					
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
(Constant)		455,850	60,640		7.517	0,000
1 REGR factor score 1 for analysis 1	1 for analysis 1	28,391	62,216	0,109	0,456	0,654
1 REGR factor score 2 for analysis 1	2 for analysis 1	-28,898	62,216	-0,111	-0,464	0,648

Tabel 4. Koefisien determinasi untuk *Cryptosporidium*

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,156 ^a	0,024	-0,090	271,191

a. Predictors: (Constant), REGR factor score 2 for analysis 1, REGR factor score 1 for analysis 1

b. Dependent Variable: Protozoa

Tabel 5. Hasil uji regresi untuk bakteri *Coliform*

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	607,850	44,700		13,598	0,000
1 REGR factor score 1 for analysis 1	297,046	45,862	0,796	6,477	0,000
1 REGR factor score 2 for analysis 1	123,324	45,862	0,331	2,689	0,016

Tabel 6. Koefisien determinasi untuk bakteri *Coliform*

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.862 ^a	.743	.713	199.906

a. Predictors: (Constant), REGR factor score

2 for analysis 1, REGR factor score 1 for analysis 1,

b. Dependent Variable: Protozoa

Pengaruh Faktor Kualitas Air Terhadap *Cryptosporidium*

Tabel 3 merupakan hasil uji regresi yang dapat mengetahui hubungan kedua faktor utama terhadap keberadaan *Cryptosporidium* di hulu Sungai Citarum. Koefisien yang didapat akan dimasukkan ke dalam persamaan untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas dengan variabel tak bebas. Dari tabel tersebut juga didapatkan nilai signifikansi masing –

masing faktor. Nilai signifikansi untuk F1 dan F2 secara berurutan adalah 0,654 dan 0,648. Nilai signifikansi kedua faktor tersebut tidak memiliki pengaruh terhadap keberadaan *Cryptosporidium* karena nilai signifikansinya melebihi 0,05.

Tabel 4 menunjukkan nilai koefisien determinasi (r^2) yang didefinisikan sebagai kemampuan variabel bebas dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya. Nilai r^2 yang dihitung sebesar

0,024 yang menunjukkan bahwa hanya 2,4% dari kedua faktor utama tersebut yang memiliki pengaruh atas keberadaan *Cryptosporidium* di Hulu Sungai Citarum.

Pengaruh Parameter Fisika dan Kimia Air Terhadap Bakteri Coliform

Bakteri *Coliform* memiliki faktor-faktor utama parameter fisikokimia yang sama dengan faktor-faktor utama fisikokimia pada *Cryptosporidium*. Setelah diidentifikasi, analisis tingkat pengaruh untuk faktor-faktor tersebut selanjutnya dilakukan.

Tabel 5 merupakan hasil uji regresi parameter fisika dan kimia air terhadap *Coliform*. Parameter air yang memiliki pengaruh signifikan adalah parameter DO, turbidity, COD, NO₂, NH₄ dan PO₄. Hal ini dibuktikan dengan nilai signifikansi yang bernilai lebih kecil dari pada (>) 0,05 pada kedua faktor tersebut. Nilai signifikansi untuk faktor pertama sebesar 0,000 dan nilai signifikansi pada faktor kedua sebesar 0,016. Sedangkan, **Tabel 6** menunjukkan bahwa kedua faktor tersebut memiliki pengaruh 71,3% terhadap keberadaan bakteri *Coliform* di perairan Hulu Sungai Citarum.

KESIMPULAN

Berdasarkan indeks kualitas air NSF-WQI, status kualitas air hulu Sungai Citarum termasuk kedalam kategori buruk hingga sedang yang disebabkan oleh pencemaran limbah organik dari kegiatan antropogenik masyarakat di sekitar Hulu Sungai Citarum. Parameter fisika dan kimia air yang memiliki hubungan yang signifikan dengan bakteri *Coliform* adalah DO, turbiditas, COD, NO₂, NH₄ dan PO₄. Namun, korelasi antara parameter fisika dan kimia air dengan *Cryptosporidium* tidak signifikan. Terdapat dua faktor utama yang diduga memiliki pengaruh terhadap keberadaan *Cryptosporidium*, yaitu: 1) faktor pertama: DO, turbiditas, NO₂, NH₄ dan total *Coliform*, dan 2) faktor kedua: TSS, COD dan PO₄. Namun, kedua faktor tersebut hanya memiliki pengaruh sebesar 2,4% terhadap keberadaan *Cryptosporidium*. Nilai yang dihasilkan ini menunjukkan bahwa keberadaan *Cryptosporidium* tidak dipengaruhi oleh kedua faktor tersebut. Sedangkan, pengaruh parameter fisika dan kimia air terhadap keberadaan bakteri *Coliform* memiliki persentase yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Cryptosporidium*, yaitu sebesar 71,3%.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA (American Public Health Association). 2012. *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*, 22nd edition. USA
- Atherholt, B. T., Lechavallier, W.M., Norton, D. W., Rosen, S. J. 1998. Effect of Rainfall on Giardia and Crypto. Waterbone Patogens, *Journal of AWWA*, Vol 90.
- Baldurson, S., Karanis, P. 2011. Waterbone Transmission Of Protozoan Parasites: Review Of Worldwide Outbreaks-An Update 2004-2010. In: *Water Research* 45: 6603-6614
- Muntalif, B.S., Ratnawati, K., dan Bahri, S. 2008. *Bioassessment* menggunakan Makroinvertebrata Benthik Untuk Penentuan Kualitas Air Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Purifikasi*, 9(1): 49-60.
- Fayer, R., Trout, J.M., dan Jenkins, M.C. 1998. Infectivity Of *Cryptosporidium Parvum* Oocysts Stored In Water At Environmental Temperatures. *J. parasitol.*,84:6:1165-1169.
- Faza, M.F. 2015. *Hubungan Kepadatan Populasi Makrozoobentos Sedimen Perairan Terhadap Parameter Kualitas Perairan Sungai (studi kasus: Sungai Citarum Hulu)*. Tesis. Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan. ITB: Bandung
- Hofstra, N., Bouwman, A.F., Beusen, A.H.W., Medema, G.J. 2013. Exploring Global *Cryptosporidium* Emissions To Surface Water. In: *Science of The Total Environment* 442: 10-19
- Izzati, Munifatul. 2008. *Perubahan Konsentrasi Oksigen Terlarut dan pH Perairan Tambak setelah Penambahan Rumput Laut Sargassum Plagyophyllum dan Ekstraknya*. UNDIP: Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan Jurusan Biologi FMIPA.
- Lisle, J. dan Rose, J. 1995. *Cryptosporidium* Contamination Of Water In The USA and UK: a Mini-Review. *Water SRT-Aqua*, 44:3:103-117.
- Marganof., Darusman, L.K., Riani, F., Pramudya, B. 2007. Analisis Beban Pencemaran, Kapistas Asimilasi dan Tingkat Pencemaran dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Danau Maninjau. Dalam: *Jurnal Perikanan dan Kelautan* 12, 1 (2007): 8-14
- Oram, Brian. 2014. "Calculating NSF Water Quality Index. Water Testing, Monitoring The Quality of

- Surfacewaters". <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>. Accessed at 14 November 2014: 11.00 a.m.
- Ott, W.R. 1978. *Environmenta Indices: Theory and Practice*. Ann Arbor Science. University of Michigan. ISBN:0250401916, 9780250401918.
- Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air*. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Srisuphanunt, M., Karanis,P., Charoenca, N., Boonkhao,N., Ongerth, J.E. 2010. Cryptosporidium and Giardia detection in Environmental Watersof Southwest Coastal Areas of Thailand. In:*Springer.Parasitol Res*106:1299-1306
- Sunnotel, O., Lowery, C.J., Moore, J.E., Dooley, J.S.G., Xiao, L., Millar, B.,C. 2006. "Under The Microscope, Cryptosporidium" In:*Journal Compilation, The Society for Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology: 43, ISSN 0266-8254*