STUDI EVALUASI KUALITAS DAN STATUS TROFIK AIR WADUK SELOREJO AKIBAT ERUPSI GUNUNG KELUD UNTUK BUDIDAYA PERIKANAN.

Rini Wahyu Sayekti [1], Emma Yuliani [1],Mohammad Bisri[1], Pitojo Tri Juwono[1], Linda Prasetyorini[1], Fauzia Sonia[2], Ayu Pratama Putri[2],
[1]Dosen Jurusan Teknik Pengairan
[2] Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan
email : soniafauzia@yahoo.com, ayupratama_04@yahoo.co.id

ABSTRAK: Waduk Selorejo yang terletak di Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, berfungsi sebagai penampung air dan lokasi budidaya perikanan air tawar. Pada tanggal 13 Februari 2014, peristiwa erupsi Gunung Kelud menghasilkan abu vulkanik yang jatuh ke dalam waduk sehingga mengakibatkan perubahan keseimbangan kualitas air.
Penelitian ini dilakukan dengan tujuan (a) membandingkan data pengukuran kualitas air (suhu, kekeruhan, DO, pH, ammonia, nitrit, nitrat, total-P, Cu, Zn, Pb, Cr, silika) di stasiun hulu dan tengah Waduk Selorejo pada pra dan pasca erupsi, dengan nilai standar kualitas air untuk perikanan air tawar, (b) menentukan waktu pemulihan kualitas air waduk pasca erupsi, (c) menentukan status mutu air Waduk Selorejo, (d) menentukan parameter penyumbang pencemaran terbesar (e) mengetahui status trofik Waduk Selorejo sebelum dan sesudah erupsi Gunung Kelud pada musim kering dan musim basah, (f) menganalisa fluktuasi parameter status trofik dan daya tampung beban pencemaran pasca erupsi.
Metode yang digunakan untuk penentuan status mutu air adalah Indeks Pencemaran. Metode untuk penentuan status trofik adalah membandingkan baku mutu status trofik berdasarkan PerMenLH tahun 2009 dengan parameter total-P, NO_3N, klorofil a dan kecerahan rata-rata.
Hasil penelitian menunjukkan (a) 40% data kualitas air di stasiun hulu dan 28% data kualitas air di stasiun tengah tidak memenuhi standar kualitas air. Pasca erupsi, 31% data kualitas air di stasiun hulu dan 36% data kualitas air di stasiun tengah tidak memenuhi standar kualitas air, (b) waktu pemulihan untuk parameter pH dan nitrat adalah selama 111 hari; untuk parameter DO, selama 71 hari; untuk parameter kekeruhan, selama 54 hari. Parameter total-P dan silika belum kembali normal hingga akhir periode observasi, (c) status mutu air di kedua stasiun adalah "Tercemar Ringan" saat sebelum maupun sesudah erupsi, (d) parameter penyumbang pencemaran terbesar pada stasiun hulu adalah total-P dan nitrat. Pada stasiun tengah, parameter pencemar terbesar adalah total-P, silika, dan nitrat, (e) Berdasarkan kadar klorofil a, Waduk Selorejo telah mengalami eutrofikasi dengan kategori hipereutof saat sebelum hingga setelah erupsi, (f) total daya tampung beban pencemaran terhadap kadar total-P adalah sebesar 12.072,58 kg P/tahun dan harus ditingkatkan sebesar 69,61% menjadi 39.722,33 kg P/tahun dengan cara menurunkan status waduk dari hipereutrof menjadi oligotrof.

Kata kunci: Kualitas air waduk, Status mutu air, Status Trofik, Daya Tampung Beban Pencemaran, indeks pencemaran.

***ABSTRACT**: Selorejo dam in Malang regency has been used as a water storage and for freshwater fishery. On February 13th 2014, Mount Kelud was erupted and produced volcanic ash which fell into the reservoir and caused an imbalanced water quality.*
The research was conducted in order to (a) observe a comparison between field measurement (temperature, turbidity, DO, pH, ammonia, nitrite, nitrate, total-P, Cu, Zn, Pb, Cr, and silica) and

water quality standard in both upstream and middle station,(b) to determine time interval needed by each parameter to meet permitted value for freshwater fishery, (c) to determine water quality status using Pollution Index method, (d) to determine main contributors to the water pollution, (e) to determine trophic status index of Selorejo dam prior to and after the eruption, and (f) to analyze trophic status index fluctuation and pollution load capacity after the eruption.
Method that was used to determine water quality status was Pollution Index. Trophic status index determined by comparing trophic status index standard on PerMenLH tahun 2009 with total-P, NO3N, chlorophyll a, and water clarity.
The result from this research shows (a) before eruption, 40% of field measurement in upstream station and 28% of field measurement in middle station do not meet the standard values required. After eruption, 31% of field measurement in upstream station and 36% of field measurement in middle station do not meet the standard values required, (b) time interval needed for each parameters to meet permitted values are 111 days (pH and nitrate), 71 days (DO), 54 days (turbidity), while total-P and silica have not meet the required values up to the end of observation period, (c) water quality status in Selorejo dam on both stations are "Lightly polluted", before and after the eruption of Mount Kelud, (d) main contributors to the water pollution on upstream station are total-P and nitrate. On middle station, the main contributors are total-P, silica, and nitrate, (e) Trophic status index of Selorejo dam is "hypereutrophic" for chlorophyll a, (f) pollution load capacity of Selorejo dam for total-P is 12.072, 58 kg P/year and has to be increased 69, 61% to 39.722, 33 kg P/year to lower trophic status index to "Oligotrophic".

Keywords: Water quality, water quality status, trophic status index, load capacity index, pollution index.

1. PENDAHULUAN

Selain badan air alami seperti sungai dan laut, biota air terdapat pula dalam badan air buatan manusia seperti kolam atau waduk. Bendungan Selorejo yang terletak di Desa Selorejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Bendungan ini digunakan untuk keperluan wisata, irigasi, dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan budidaya perikanan.

Erupsi Gunung Kelud pada 13 Februari 2014 malam mengakibatkan masukna material letusan ke dalam badan-badan air seperti sungai yang mengalir melalui bendungan-bendungan, salah satunya Bendungan Selorejo. Material letusan berupa abu vulkanik ini mangandung Timbal (Pb) 0,036 mg/l, Tembaga(Cu) 0,178 mg/l, Krom (Cr) 0,005 mg/l, Seng (Zn) 0,349 mg/l, Boron (B) 0,029 mg/l, Barium (Ba) 0,506 mg/l, Selenium (Se) 0,209 mg/l, Besi (Fe) 0,680 mg/l dan Silika (Si) 1.827 mg/l (BBTKL Yogyakarta, 2014). Adanya material asing dalam waduk dikhawatirkan menyebabkan gangguan terhadap kualitas air waduk sehingga kestabilan organisme yang hidup di dalamnya dapat terganggu.

Sisa pupuk dari daerah pertanian sekitar Waduk Selorejo dapat menjadi penyumbang utama unsur hara pada perairan waduk sehingga dapat menyebabkan *eutrofikasi*.

Maka dari itu perlu adanya suatu studi atau penelitian untuk mengetahui daya tampung beban pencemaran dan status trofik yang terjadi di Waduk Selorejo pasca terjadinya erupsi Gunung Kelud yang membawa material abu vulkanik dengan kandungan bahan organik tinggi seperti silika dan sulfur, sehingga menjadi akibat terjadinya pencemaran air Waduk Selorejo.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Parameter Fisika

1. Temperatur

Setiap kenaikan suhu 10 ^{o}C akan mempercepat laju reaksi kimia sebesar 2 kali. (Kordi dan Tancung, 2007: 59)

2. Kekeruhan

Kekeruhan yang tinggi dapat mengakibatkan terganggunya sistem osmoregulasi, misalnya pernafasan dan daya lihat organisme akuatik, serta dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air. Tingginya nilai kekeruhan juga dapat mempersulit usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air (Effendi, 2003).

3. Cahaya/Kecerahan

Kecerahan air tergantung pada warna dan kekeruhan. Kecerahan merupakan ukuran transparansi perairan yang ditentukan secara

visual dengan menggunakan *secchi disc*. Cara kerja *Secchi disc* adalah pertama *secchi disc* diturunkan ke dalam perairan hingga batas tidak terlihat dan dicatat tinggi permukaan air pada tambang secchi disc (A cm).

Kemudian *secchi disc* diangkat perlahan hingga kelihatan dan dicatat kembali tinggi permukaan air pada tambang *secchi disc* (B cm) dan dilakukan perhitungan dengan rumus :

$\frac{A+B}{2}$ = cm.

B. Parameter Kimia

1. Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*/*DO*)

Pada oksigen terlarut rendah, lebih rendah dari 50% konsentrasi jenuh, tekanan parsial oksigen dalam air (kolam dan tambak) cukup tinggi untuk memungkinkan penetrasi oksigen ke dalam lamela (lembaran) insang akibatnya ikan mati lemas. Pada konsentrasi lewat jenuh, lebih tinggi 150% dari konsentrasi jenuh, penetrasi oksigen ke dalam lamela terlalu cepat sehingga dapat mengakibatkan *bubble disease*, ditandai dengan keberadaan gelembung udara yang banyak dalam lamela.

2. Derajat Keasaman (pH)

pH air memengaruhi tingkat kesuburan perairan karena memengaruhi kehidupan jasad renik. Perairan asam akan kurang produktif, malah dapat membunuh hewan budidaya. Pada pH rendah (keasaman yang tinggi) kandungan oksigen terlarut akan berkurang, sebagai akibatnya konsumsi oksigen menurun, aktivitas pernapasan naik dan selera makan akan berkurang. Hal yang sebaliknya terjadi pada suasana basa (Kordi dan Tancung, 2007). Selain itu, dalam kondisi basa, konsentrasi ammonia bebas (NH_3) yang bersifat toksik terhadap organisme akuatik akan meningkat (Effendi, 2003).

3. Ammonia

Amonia yang terukur di perairan berupa ammonia total (NH_3 dan NH_4^+). Amonia bebas (NH_3) yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap organisme akuatik. Toksisitas ammonia terhadap organisme akuatik akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, pH, dan suhu. Ikan tidak dapat bertoleransi terhadap kadar ammonia bebas yang terlalu tinggi karena dapat mengganggu proses pengikatan oksigen oleh darah dan pada akhirnya dapat menyebabkan sufokasi (Effendi, 2003).

Pengaruh langung dari kadar ammonia tinggi yang belum mematikan adalah rusaknya jaringan insang, di mana lempeng insang membengkak sehingga fungsinya sebagai alat pernapasan akan terganggu. Sebagai akibat lanjut, dalam keadaan kronis, biota budi daya tidak lagi hidup normal. (Kordi dan Tancung, 2007).

4. Nitrit

Nitrit beracun terhadap udang dan ikan karena mengoksidasi Fe^{2+} di dalam hemoglobin. Dalam bentuk ini, kemampuan darah untuk mengikat oksigen sangat merosot. Mekanisme toksisitas dari nitrit adalah pengaruhnya terhadap transport oksigen dalam darah dan kerusakan jaringan (Kordi dan Tancung, 2007).

5. Nitrat

Tinja hewan merupakan faktor penyumbang besar dalam meningkatnya nitrat (Effendi, 2003).

Apabila tidak tersedia cukup oksigen terlarut dalam air, maka nitrit tidak dapat berubah menjadi nitrat. Sehingga, akan terjadi kelimpahan Nitrit dalam badan air (Djokosetiyanto et.al, 2006).

Nitrat tidak bersifat toksik terhadap organisme akuatik. Namun, jika kadarnya terlalu tinggi, dapat menyebabkan tumbuhnya alga yang berlebih atau biasa disebut *algae bloom* (Effendi, 2003).

Nitrat nitrogen sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Kadar nitrat-nitrogen yang lebih dari 0,2 mg/liter dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan, yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*).

Nitrat dapat digunakan untuk mengelompokkan tingkat kesuburan perairan. Perairan oligotrofik memiliki kadar nitrat antara 0 – 1 mg/liter, perairan mesotrofik memiliki kadar nitrat antara 1 -5 mg/liter, dan perairan eutrofik memiliki kadar nitrat yang berkisar antara 5 – 50 mg/liter. (Volenweider, 1969 dalam Wetzel, 1975 dalam Effendi, 2003).

6. Total Phosphat

Total P menggambarkan jumlah total fosfor, baik berupa partikulat maupun terlarut, anorganik, maupun organic (Effendi, 2003).

Fosfor tidak bersifat toksik bagi manusia, hewan, dan ikan. Namun, keberadaan fosfor secara berlebihan yang disertai dengan keberadaan nitrogen dapat menstimulir ledakan pertumbuhan algae di perairan (*algae bloom*). Algae yang berlimpah ini dapat membentuk lapisan pada permukaan air, yang selanjutnya dapat menghambat penetrasi oksigen dan cahaya matahari sehingga kurang menguntungkan bagi ekosistem perairan (Effendi, 2003).

Pada kerak bumi keberadaan fosfor relatif sedikit dan mudah mengendap. Fosfor juga merupakan unsur esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan algae, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan algae akuatik serta sangat mempengaruhi tingkat produktivitas perairan. Jones dan Bachmann (1976) dalam Davis dan Cornwell (1991) dalam Effendi,2003 mengemukakan korelasi positif antara kadar fosfor total dengan klorofil a. Hubungan antara kadar fosfor total dan klorofil a tersebut ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut :

Log (Klorofil a) = - 1,09 + 1,46 Log Pt

dengan :

Klorofil a = Konsentrasi klorofil a (mg/m^3).

Pt = Fosfor total (mg/m^3).

Fosfor total menggambarkan jumlah total fosfor, baik berupa partikulat maupun terlarut, anorganik maupun organik. Fosfor anorganik biasa disebut *soluble reactive phosphorus*, misalnya ortofosfat.

Berdasarkan kadar fosfor total, perairan diklasifikasikan menjadi tiga, (Yoshimura dalam Liaw, 1969 dalam Effendi, 2003), yaitu :

1. Perairan dengan tingkat kesuburan rendah, memiliki kadar fosfat total berkisar antara 0 – 0,02 mg/liter.
2. Perairan dengan tingkat kesuburan sedang, memiliki kadar fosfat total berkisar antara 0,02 – 0,05 mg/liter.

Perairan dengan tingkat kesuburan tinggi, memiliki kadar fosfat total 0,051 – 0,1 mg/liter.

7. Tembaga (Cu)

Tembaga atau *copper* merupakan logam berat yang dijumpai pada perairan alami. Namun, pada jumlah tertentu tembaga dapat mengurangi pertumbuhan alga dengan menghambat penyerapan silika oleh diatom sehingga mengganggu proses pertumbuhannya. Tembaga juga digunakan sebagai molusida yang berfungsi untuk membunuh moluska (Effendi, 2003). Artinya, logam tembaga tidak saja berbahaya bagi ikan, namun dapat menyebabkan kematian juga pada hewan moluska.

8. Seng (Zn)

Silika terlarut dapat meningkatkan kadar seng, karena Silika mengikat seng. Jika perairan bersifat asam, kelarutan seng meningkat. Kadar seng pada perairan alami adalah kurang dari 0,05 mg/liter (Moore, 1991, dalam Effendi 2003)

Seng dapat memengaruhi jumlah oksigen yang dapat dibawa oleh darah pada ikan (Heath, 1995). Konsentrasi seng yang berlebihan dapat menurunkan penyerapan tembaga dan besi. Seng dalam bentuk bebas sangat bersifat toksik bagi tumbuhan, organisme invertebrata, bahkan ikan vertebrata (Eisler, 1993).

9. Timbal (Pb)

Timbal bersifat toksik bagi hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang (Effendi, 2003).

Toksisitas timbal terhadap organisme akuatik berkurang dengan meningkatnya kesadahan dan kadar oksigen terlarut. Timbal dapat menutupi lapisan mukosa pada organism akuatik, dan selanjutnya dapat mengakibatkan sufokasi (Moore, 1991 dalam Effendi, 2003).

10. Krom (Cr)

Kadar kromium pada perairan tawar biasanya kurang dari 0,001 mg/liter (McNeely et al., 1979, dalam Effendi, 2003). Toksisitas kromium dipengaruhi antara lain oleh suhu dan pH (Moore, 1991, dalam Effendi, 2003).

Krom dapat merusak insang dan sisik ikan serta menyebabkan stress pada ikan (Sadana, 2014).

11.Silika (SiO_2)

Bagian fraksi halus abu vulkanik dapat menyebabkan iritasi dan bersifat toksik terhadap ikan baik langsung pada bagian kulit atau sisik, mata, bagian insang ,sistem peredaran darah atau dalam saluran pencernaan (Siswadi, 2010).

Silika yang telah berbentuk koloid dapat menyebabkan kekeruhan yang dapat menyebabkan keasaman, unsur hara yang rendah, dan penetrasi cahaya yang terbatas untuk fotosintesis (Boyd, 1982)

Silika merupakan salah satu bahan pembentuk dinding sel alga. Sehingga, apabila kandungan silika dalam suatu peairan terlalu tinggi (abnormal), maka hal ini akan menyebabkan meningkatnya populasi alga secara eksponensial selama periode yang panjang (Effendi, 2003).

C. Parameter Biologi

Klorofil (dari bahasa Inggris, *chlorophyll*) atau zat hijau daun (terjemah langsung dari bahasa Belanda, *bladgroen*) adalah pigmen yang dimiliki oleh berbagai organisme dan menjadi salah satu molekul berperan utama dalam fotosintesis.

Klorofil-a adalah salah satu parameter indikator tingkat kesuburan dari suatu perairan. Tinggi rendahnya *klorofil-a* di perairan sangat dipengaruhi oleh faktor hidrologi perairan (suhu, salinitas, nitrat dan fosfat). Kandungan *klorofil-a* di suatu perairan dapat digunakan sebagai ukuran

standing stock fitoplankton yang dapat dijadikan petunjuk produktivitas primer suatu perairan. Semakin tinggi kandungan *klorofil-a* fitoplankton dalam suatu perairan, berarti semakin tinggi pula produktivitas perairan tersebut, sehingga daya dukung terhadap komunitas penghuninya semakin tinggi.

D. Uji Homogenitas (Uji T)

Pada penelitian ini, digunakan uji T (homogenitas) dua arah.

E. Metode Indeks Pencemaran

Metode ini sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.

Analisa IP dilakukan dengan rumus:

$$P_{ij} = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})^2{}_R + (C_i/L_{ij})^2{}_M)}{2}}$$

Dimana:

1. $(C_i/L_{ij})^2{}_R$ = Nilai C_i/L_{ij} rerata
2. $(C_i/L_{ij})^2{}_M$ = Nilai C_i/L_{ij} maksimum
3. Untuk parameter yang apabila meningkat,mengindikasikan pening- katan pencemaran, menggunakan rumus:

$$\overline{Ci_x}/L_{ix}$$

Apabila $\overline{Ci_x}$/Lix > 1, maka digunakan rumus:

$$\overline{Ci_x}/L_{ix} = 1{,}0 + P.\log\left(\overline{Ci_x}/L_{ix}\right)$$

4. Untuk parameter yang memiliki baku mutu dengan rentang:

$$C_i/L_{ix} = \frac{\overline{Ci_x} - \overline{Li_x}}{Li_{max} - \overline{Li_x}}$$

$$\overline{Li_x} = \frac{(baku\ mutu\ atas + baku\ mutu\ bawah)}{2}$$

Apabila Ci > $\overline{L_{ix}}$, maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$C_i/L_{ix} = \frac{C_i - \overline{Li_x}}{Li_{min} - \overline{Li_x}}$$

Evaluasi terhadap nilai PI adalah :

$0 \leq$ PIj $\leq 1{,}0$ → memenuhi baku mutu (kondisi baik)
$1{,}0 <$ PIj $\leq 5{,}0$ → cemar ringan
$5{,}0 <$ PIj ≤ 10 → cemar sedang
PIj > 10 → cemar berat

Standar kualitas air yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari berbagai macam sumber seperti dapat dilihat dalam tabel 1 dan 2 berikut:

Tabel 1. Nilai Kisaran Parameter Fisika dan Kimia untuk Budidaya Perikanan Air Tawar

No	Parameter	Nilai kisaran
	Aspek Fisik	
1.	Suhu	20 - 30 ^{0}c
2.	Kekeruhan	25 JTU
	Aspek Kimia	
3.	Oksigen terlarut	5 - 6 ppm
4.	pH	6,5 - 8
5.	Ammonia	< 1,5 ppm
6.	Nitrit	< 0,2 ppm
7.	Nitrat	0 - 1,5 ppm
8.	Phosphat	< 0,02 ppm

Sumber: Gusrina, 2008

Tabel 2. Nilai Ambang Batas Kehidupan Parameter Logam Berat untuk Budidaya Ikan Air Tawar

No	Parameter	Ambang Batas Kehidupan (mg/l)	Sumber
1.	Cu	0,4	"Effect of copper on blood coagulation of oreochromis mossambicus", Gail Nussey et. Al (2006)
2.	Zn	0,08	"Histological changes in the liver of oreochromis mossambicus after exposureto cadmium and zinc" Van Dyk et. Al (2005)
3.	Pb	1,494	"In Vivo Acute Toxicity Tests of Some Heavy Metals to Tilapia Fish", Abdulali Taweel (2013)
4.	Si	4	"A Water Quality Survey of Nine Lakes In The Carleton River Watershed Area, Yarmouth County, Nova Scotia", Darrel Taylor (2009)
5.	Cr	0,075	"Differential effect of chromium compounds on the immune response of the african mouth breeder Oreochromis mossambicuz", Isaac Arunkumar (2000)

Sumber: google.com

F. Metode Status Trofik Perairan Waduk/Danau

Kondisi kualitas air danau dan/atau waduk diklasifikasikan berdasarkan *eutrofikasi* yang disebabkan adanya peningkatan kadar unsur hara dalam air. Faktor pembatas sebagai penentu *eutrofikasi* adalah unsur Fosfor (P) dan Nitrogen (N). Sedangkan beberapa elemen (misalnya silikon, mangan, dan vitamin) merupakan faktor pembatas bagi pertumbuhan *algae*. Akan tetapi, elemen-elemen tersebut tidak dapat menyebabkan terjadinya *eutrofikasi* meskipun memasuki badan air dalam jumlah yang cukup banyak. *Eutrofikasi* diklasifikasikan menjadi empat kategori status trofik (PerMNLH Nomor 28 tahun 2009), yaitu:

a. *Oligotrof*; adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar rendah, status ini menunjukkan kualitas air masih bersifat alamiah belum tercemar dari sumber unsur hara N dan P.

b. *Mesotrof*; adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar sedang, status ini menunjukkan adanya peningkatan kadar N dan P, namun masih dalam batas toleransi karena belum menunjukkan adanya indikasi pencemaran air.

c. *Eutrofik*; adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar oleh peningkatan kadar N dan P.

d. *Hipereutrofik*; adalah status trofik air danau dan/atau waduk yang mengandung unsur hara dengan kadar sangat tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar berat oleh peningkatan kadar N dan P.

Tabel 3. Kriteria Status Trofik Danau/Waduk

Status Trofik	Kadar Rata-rata Total –N (µg/l)	Kadar Rata-rata Total – P (µg/l)	Kadar Rata-rata Klorofil a (µg/l)	Kecerahan Rata-rata (m)
Oligotrof	≤650	<10	<2.0	≥10
Mesotrof	≤750	<30	<5.0	≥4
Eutrof	≤1900	<100	<15	≥2,5
Hipereutrof	>1900	≥100	≥200	<2,5

Sumber : KLH 2009, Modifikasi OECD 1982, MAB 1989 ; UNEP – ILEC, 2001

Tabel 4. Kriteria Status Trofik Kadar *Klorofil a* Danau/Waduk

Status Trofik	Kadar Rata-rata *Klorofil a* (µg/l)	Karakteristik
Oligotrof	< 0,95	Air jernih, Oksigen pada lapisan hipolimnion ada sepanjang tahun.
	0,95 – 2,6	lapisan hipolimnion pada danau/waduk dangkal kemungkinan bersifat *anoxic* (kehabisan oksigen terlarut)
Mesotrof	2,6 – 7,3	Air masih jernih, sifat *anoxic* pada lapisan hipolimnion berpeluang meningkat sepanjang musim kemarau/panas.
Eutrof	7,3 – 20	Pada lapisan hipolimnion waduk ini bersifat *anoxic*, timbulnya masalah *macrophyte* (tumbuhnya tanaman air).
	20 – 56	Jenis Alga *blue-green* mendominasi perairan ini, timbulnya *alga scums* dan *macrophyte*.
Hipereutrof	56 – 155	Produktifitas perairan menurun karena terbatasnya cahaya matahari yang masuk, pertumbuhan alga, masih terjadi fenomena *macrophyte.*
	>155	Timbulnya alga scums, dan menurunnya fenomena *macrophyte*.

Sumber : Carlson & Simpson, 1996

G. Daya Tampung Beban Pencemaran Air Waduk

Daya tampung beban pencemaran air adalah batas kemampuan sumber daya air untuk menerima masukan beban pencemaran yang tidak melebihi batas syarat kualitas air untuk berbagai peruntukannya. Daya tampung danau dan/atau waduk yaitu kemampuan perairan danau dan/atau waduk menampung beban pencemaran air sehingga memenuhi baku mutu air dan status trofik. Berikut rumus umum daya tampung beban pencemaran air danau dan/atau waduk berdasarkan PerMenNLH tahun 2009:

a. Morfologi dan Hidrologi Danau dan/atau Waduk

$$\check{Z} = 100 \times V/A$$

Dengan :

Ž : Kedalaman rata-rata danau dan/atau waduk (m).

V : Volume air danau dan/atau waduk (Juta m^3).

A : Luas perairan danau dan/atau waduk (Ha)

$$\rho = Qo/V$$

Dengan :

ρ : Laju penggantian air danau dan/atau waduk (l/tahun)

Qo : Jumlah debit air keluar danau (juta m^3/tahun) pada tahun kering.

b. Alokasi Beban Pencemaran Parameter Pa

$$[Pa]_{STD} = [Pa]_i + [Pa]_{Das} + [Pa]_d$$

$$[Pa]_d = [Pa]_{STD} - [Pa]_i - [Pa]_{Das}$$

$[Pa]_{STD}$: Syarat kadar parameter Pa maksimal sesuai baku mutu air atau kelas air (mg/m^3)

[Pa]i : Kadar parameter Pa hasil pemantauan danau dan/atau waduk (mg/m^3)

[Pa]Das : Jumlah alokasi beban Pa dari daerah aliran sungai (DAS) atau daerah tangkapan air (DTA). (mg/m^3)

$[Pa]_d$: Alokasi beban Pa limbah kegiatan pada perairan danau dan/atau waduk (mg/m^3)

c. Daya Tampung Beban Pencemaran Air Parameter Pa Pada Air Danau Dan/Atau Waduk

$$L = \Delta [Pa]_d \check{Z} \rho / (1- R)$$

$$R = 1 / (1 + 0{,}747\rho^{0{,}507})$$

$$La = L \times A / 100$$

$$= \Delta [Pa]_d A \check{Z} \rho / 100 (1-R)$$

Dengan :

L : Daya Tampung limbah Pa per satuan luas danau dan/atau waduk ($mg/Pa/m^2$.tahun)

La : Jumlah daya tampung limbah Pa pada perairan danau dan/atau waduk (kg Pa / tahun)

R : Total Pa yang tinggal bersama sedimen

3. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

a. Data Primer

Data primer yang diambil meliputi parameter silika, *klorofil* a, dan kecerahan air waduk.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah termometer sebagai alat untuk mengukur suhu, *secchi disc* untuk mengukur kecerahan air waduk, rol meter sebagai alat untuk mengukur kedalaman pada tali *secchi disc* serta GPS (*Global Positioning System*) untuk mengetahui koordinat lokasi titik pengambilan sampel, botol air mineral (*polietilen*) sebagai tempat untuk menyimpan air yang sudah diambil dari lapangan hingga sampai ke laboratorium, serta alat pengambil contoh air yaitu, *water sampler* tipe horizontal.

Sebelum pengambilan sampel air dilakukan, pengukuran perbedaan suhu air di kedalaman 1 meter dari bawah permukaan dan 1 meter dari atas dasar. Apabila perbedaan suhunya melebihi 3^0C, maka pengambilan sampel dilakukan pada kedalaman 0,2 x kedalaman dan 0,8 x kedalaman untuk danau/waduk yang memiliki kedalaman kurang dari 10 meter (Hadi, 2005). Apabila perbedaannya kurang dari 3^0C, maka sampel diambil pada kedalaman yang sama dengan kedalaman yang digunakan oleh PJT I pada saat pengecekan kualitas air Waduk Selorejo secara berkala, yaitu 0,3 meter dari permukaan air.

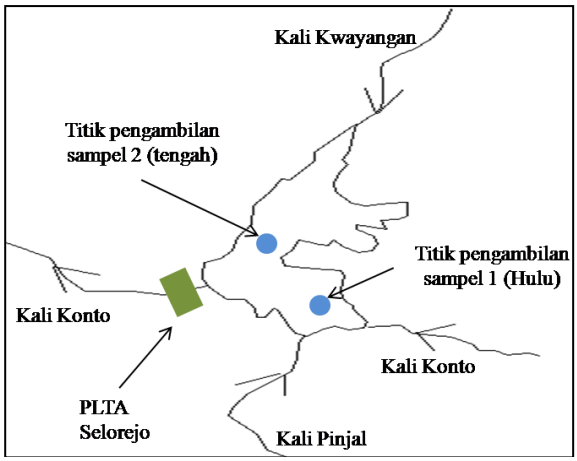
Sampel silika dan *klorofil* a dianalisa di laboratorium PJT I. Sampel diserahkan pada hari yang sama, sekitar 6 jam setelah pengambilan.

1. Sampel primer Silika (SiO_2) diambil pada 2 titik pengambilan di Waduk Selorejo, yaitu bagian hulu dan hilir, dengan kedalaman yang sama (0,3 m) dan pengulangan 2 kali di masing-masing titik pengambilan.
2. Wadah sampel untuk parameter *klorofil* a dibungkus dengan kantung plastik hitam dengan tujuan untuk menghalangi sinar matahari yang dapat mematikan *khlorofil a*.
3. Pengukuran kecerahan rata-rata menggunakan alat *secchi disk*

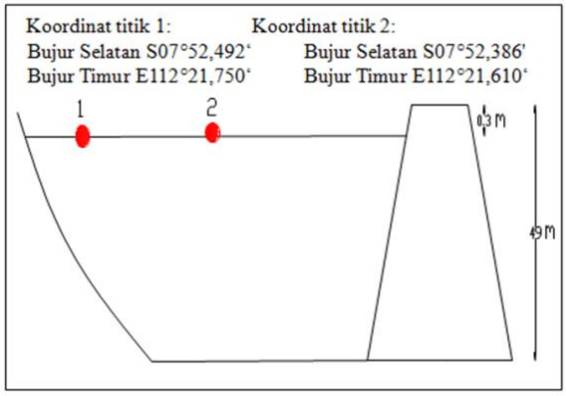
b. Data Sekunder

Data sekunder mutu air diperoleh dari PJT I pada bulan Oktober 2013 hingga Agustus 2014, meliputi suhu, kekeruhan, oksigen terlarut, pH, Ammonia, Nitrit, Nitrat, Total-P, Cu, Zn, Pb, dan Cr.

Untuk keperluan analisa status trofik, parameter yang digunakan adalah total P (fosfor), NH_3N, dan NO_3N dari bulan Juni 2013 sampai Agustus 2014.



Gambar 1. Lokasi *Sampling*.



Gambar 2. Kedalaman pengambilan *Sampling*.

B. Pembagian Musim dengan Cara *Overlay* Data

Pembagian musim dilakukan dengan membandingkan data hujan bulanan di tiap stasiun dengan nilai curah hujan rerata untuk periode Desember 2012 – Mei 2013.

Apabila data hujan melebihi nilai curah hujan rerata, maka bulan yang bersangkutan akan dikategorikan ke dalam musim kering. Apabila nilai data hujan di bawah nilai curah hujan rerata, maka bulan yang bersangkutan dikategorikan ke dalam musim hujan.

C. Uji Homogenitas Data

Uji T dilakukan pada setiap periode, yaitu periode 1 (Oktober 2013 – November 2013), periode 2 (Desember 2013 – Januari 2014), periode 3 (Februari 2014 – Maret 2014), dan periode 4 (April 2014 – Agustus 2014). Parameter

dengan data yang kurang lengkap tidak diikutsertakan dalam uji T.

D. Perbandingan Data Sekunder dan Standar Kualitas Air

Pembandingan dilakukan terhadap parameter dan standar kualitas air untuk perikanan air tawar yang digunakan, kemudian dilakukan analisa atau pembahasan terhadap masing-masing nilai yang menunjukkan perubahan signifikan pada pra dan pasca erupsi Gunung Kelud.

E. Analisa Waktu Pemulihan

Analisa waktu pemulihan dilakukan dengan cara menghitung jumlah hari yang dibutuhkan bagi masing-masing parameter untuk kembali memenuhi standar mutu air yang digunakan.

F. Penentuan Status Mutu Air

Penentuan status mutu air dilakukan dengan menggunakan metode Indeks Pencemaran dilakukan pada parameter mutu air yang memiliki data lengkap sepanjang periode observasi pengamatan, yaitu suhu, kekeruhan, DO, pH, ammonia, nitrit, nitrat, total – P.

G. Penentuan Parameter Pencemar Terbesar

Analisa penentuan dilakukan dengan mencari kelipatan nilai masing-masing parameter dengan standar kualitas air yang digunakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembagian Musim

Dari pembagian musim yang dilakukan, maka bulan-bulan observasi dapat dikategorikan ke dalam 4 periode.

Periode 1 adalah musim kering pra erupsi (Oktober 2013 – November 2013). Periode 2 adalah musim hujan pra erupsi (Desember 2013 – Maret 2014). Periode 3 adalah musim hujan pasca erupsi (Februari 2014 – Maret 2014). Periode 4 adalah musim kering pasca erupsi (April 2014 – Agustus 2014).

B. Uji Homogenitas Data (Uji T)

Hasil analisa uji homogenitas pada data kualitas air menunjukkan hasil yang homogen untuk seluruh parameter yang digunakan (suhu, kekeruhan, DO, pH, ammonia, nitrit, nitrat, total – P) sepanjang periode observasi penelitian (Oktober 2013 – Agustus 2014).

Analisa uji T pada data parameter untuk status trofik menunjukkan hasil hipotesa dengan prosentase 11,11 % heterogen pada parameter Total P di musim kering 2013, dan 88,89 % homogen untuk parameter Total P, NO_3N, serta NH_3N di musim basah dan kering 2014.

C. Perbandingan Data Lapangan dan Standar Kualitas Air

Hasil perbandingan yang dilakukan menunjukkan 40% data kualitas air pra-erupsi di stasiun hulu dan 28% data kualitas air pra-erupsi di stasiun tengah tidak memenuhi standar kualitas air sesuai dengan tabel 4.1 dan 4.2. Pasca erupsi, 31% data kualitas air di stasiun hulu dan 36% data kualitas air di stasiun tengah tidak memenuhi standar yang digunakan.

D. Penentuan Parameter Pencemar Tertinggi

Berdasarkan hasil perhitungan status mutu air menggunakan Metode Indeks Pencemaran, diketahui bahwa kondisi air Waduk Selorejo adalah tercemar ringan. Pencemaran tertinggi pada stasiun hulu terjadi pada periode 3 (Bulan Februari 2014 – Maret 2014). Sementara pencemaran tertinggi pada stasiun tengah terjadi pada periode 4 (Bulan April 2014 – Agustus 2014).

Hasil analisa menunjukkan parameter pencemar terbesar pada stasiun hulu adalah total-P, nitrat, dan nitrit. Sementara pada stasiun tengah, adalah total-P, silika, dan nitrat.

E. Uji Statistik Parameter Kualitas Air

Hasil dari uji statistik untuk berbagai parameter dengan uji T ini didapatkan hipotesa dengan prosentase 11,11 % heterogen pada parameter Total P di musim kering 2013, dan 88,89 % homogen untuk parameter Total P, NO_3N, serta NH_3N di musim basah dan kering 2014.

F. Analisa Waktu Pemulihan

Hasil analisa yang dilakukan menunjukkan kebutuhan waktu pemulihan selama 111 hari (pH dan nitrat), 71 hari (DO), 54 hari (kekeruhan), dan 0 hari atau

tidak dibutuhkan waktu pemulihan (suhu, ammonia, nitrit, Cu, dan Cr). Sementara nilai parameter total-P dan 9ilica belum kembali normal hingga akhir periode observasi.

G. Penentuan Status Mutu Air

Analisa penentuan status mutu air menunjukkan hasil yang sama sepanjang periode observasi (Oktober 2013 – Agustus 2014), baik pada stasiun hulu maupun stasiun tengah, yaitu "Tercemar Ringan".

H. Analisa Parameter Status Trofik Sesuai Baku Mutu

Analisa parameter status trofik ini dititikberatkan pada parameter Total P dan NO_3N yang menggunakan baku mutu air kelas II yang diperuntukkan untuk budidaya perikanan air tawar sesuai dengan PP No. 82 Tahun 2001 (tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air), serta digunakan pula KepMenKLH no. 02 tahun 1988 (tentang pedoman penetapan baku mutu lingkungan untuk air golongan C sebagai peruntukan budidaya perikanan air tawar) yang menjadi acuan baku mutu untuk parameter NH_3N. Hasil perbandingan dengan baku mutu ialah :

1. Pada parameter Total P sekitar 67 % -100 % memenuhi syarat pada lokasi hulu dan tengah waduk di musim kering, sedangkan 33 % tidak memenuhi syarat pada musim basah 2014 (hulu dan tengah) serta musim kering 2014 (hulu)
2. Pada parameter NO_3N 100 % memenuhi syarat pada semua musim dan bagian waduk (hulu dan tengah)
3. Pada parameter NH3N 100 % tidak memenuhi syarat pada semua musim dan bagian waduk (hulu dan tengah)
4. Menentukan Klasifikasi Status Trofik
   Klasifikasi mengenai status trofik

Waduk Selorejo ini akan diklasifikasikan berdasarkan kelompok musim, yaitu musim kering 2013, musim basah 2014, dan musim kering 2014 secara periodik berdasarkan bulan, kemudian dirata-ratakan setiap musim sehingga akan terlihat kategori status trofik berdasarkan musim pada masing-masing stasiun atau lokasi penelitian, untuk klasifikasi menurut Total P dan Kecerahan rata-rata mengacu pada PerMenNLH Tahun 2009 kriteria status trofik danau/waduk , sedangkan untuk parameter NO_3N mengacu pada Hefni Effendi,2003 dan parameter klorofil a mengacu pada Carlson & Simpson, 1996. Hasil untuk pengklasifikasian status trofik ini adalah sebagai berikut :

1. Di bagian hulu mengalami proses eutrofikasi dengan tingkat trofik 17 % *eutrof* dan 83 % *hipereutrof* untuk Total P, sedangkan 100 % *hipereutrof* untuk *klorofil a*. Status ini menurun untuk Total P menjadi 50 % *eutrof* dan 50 % *Hipereutrof* pada musim basah 2014 setelah erupsi, dan 67 % eutrof 33 % *Hipereutrof* pada musim kering 2014 setelah erupsi. Sedangkan penurunan status untuk *klorofil a* sama seperti status menurut kadar Total P.
2. Di bagian tengah untuk status trofik menurut Total P sebelum erupsi (musim kering 2013 berstatus 17 % *mesotrof* ,67% *eutrof* dan 17 % *hipereutrof*, setelah erupsi (musim basah dan kering 2014) 33 % *eutrof* dan 67 % *hipereutrof*, kemudian menurut sebelum erupsi (musim kering 2013 berstatus 17 % *mesotrof*, 50 % *eutrof* dan 33 % *hipereutrof*.
3. Sedangkan untuk parameter NO_3N (nitrat sebagai N) pada bagian hulu ,yaitu 100 % berstatus *mesotrof* pada musim kering 2013 sebelum erupsi dan 100 % *mesotrof* pada musim basah 2014 setelah erupsi dan menurun menjadi 67 % *mesotrof* pada musim kering 2014 setelah erupsi, dan pada bagian tengah waduk berstatus 67 % *mesotrof* di musim kering 2013 sebelum erupsi serta di musim basah 2014 setelah erupsi tidak ada peningkatan status yaitu sama 67 %, namun pada musim kering 2014 kembali mengalami peningkatan status yaitu, 100 % berstatus *mesotrof.*

Telah terlihat bahwa kondisi Waduk Selorejo sebelum terjadi erupsi Gunung Kelud maupun setelah terjadi erupsi Gunung Kelud, kondisi waduk tetap mengalami proses *eutrofikasi* atau pengkayaan unsur hara bagi kesuburan perairan dan Waduk Selorejo dapat dikatana berkategori *Hipereutrof* berdasarkan klasifikasi Total P dan *Klorofil a*.

Untuk menangani hal ini, solusi yang dianjurkan adalah dengan adanya pengerukan sedimen pada Waduk Selorejo, pada bulan Agustus 2014 tepatnya pada tanggal 25 Agustus 2014, telah dilakukan pengerukan oleh sub divisi Perum Jasa Tirta 1 yang menangani Waduk Selorejo, maka dari itu didapatkan analisa kadar *klorofil a* dan kecerahan rata-rata yang menggambarkan penurunan dari status trofik waduk setelah adanya proses pengerukan.

D. Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran

1. Data Waduk Selorejo 2014

Volume waduk pada elevasi +622 m : 36,566 juta m^3

Luas perairan waduk : 318,60 Ha

Jumlah debit outflow (Qo) pada tahun kering : 168,610 juta m^3/tahun.

2. Kedalaman Rata-Rata Waduk

$\check{Z}$ = *100 x V/A*
= *100 x 36,566 juta m^3/ 318,60 Ha*
= *11,48 m*

3. Laju Penggantian Air Waduk

$P = Q_0/V$
= *168,610 juta m^3/tahun/36,566 juta m^3*
= *4,6 Tahun*

4. Alokasi Beban Pencemaran Parameter Total P (*Hipereutrof*)

$[Pa]_{STD}$ = Syarat kadar parameter Pa maksimal sesuai baku mutu air atau kelas air (mg/m^3)
= 200 mg/m^3 (*hipereutrof*)

[Pa]I = Kadar parameter Pa hasil pemantauan danau dan/atau waduk (mg/m^3)

Kadar rata-rata hulu dan tengah = (155,429 + 156,000) / 2
= 155,714 mg/m^3.

[Pa]Das : Jumlah alokasi beban Pa dari daerah aliran sungai (DAS) atau daerah tangkapan air (DTA). (mg/m^3)

[Pa]Das = 0, karena dianggap sama dengan [Pa]i atau alokasi beban di waduk [Pa]i merupakan akumulasi dari kadar Total P oleh aliran sungai yang bermuara di dalam waduk, hal ini disebabkan karena data untuk parameter Total P yang berada di sungai sekitar Waduk Selorejo tidak tersedia atau tidak ada pengukuran parameter Total P secara periodik oleh Perum Jasa Tirta 1.

$[Pa]_d$: Alokasi beban Pa limbah kegiatan pada perairan danau dan/atau waduk (mg/m^3)

$[Pa]_d = [Pa]_{STD} - [Pa]_i - [Pa]_{Das}$
= *200 - 155,714 - 0*
= *44,286 mg/m^3*

5. Daya Tampung Beban Pencemaran Air Parameter Total P Pada Waduk

$R = 1 / (1 + 0{,}747\rho^{0{,}507})$
= *1/ (1 + 0,747 x $4{,}6^{0{,}507}$)*
= *0,381 mg/m^3*

$L = \Delta [Pa]_d \check{Z} \rho / (1- R)$
= *(44,286 x 11,48 x 4,6) / (1-0,381)*
= *3789,258 mg/P/m^2/tahun*

$La = L \times A / 100$
= *(3789,258 x 318,60) / 100*
= *12.072,58 Kg P/tahun*

Dengan :

L : Daya Tampung limbah Pa per satuan luas danau dan/atau waduk (mg/Pa/m^2.tahun)

La : Jumlah daya tampung limbah Pa pada perairan danau dan/atau waduk (kg Pa / tahun)

R : Total Pa yang tinggal bersama sedimen

Kemudian dapat dijelaskan tentang perbedaan daya tampung beban pencemaran dan prosentase penurunan yang harus dilakukan untuk mendapatkan daya tampung beban pencemaran yang besar berstatus *oligotrof* (tingkat kesuburan perairan sangat rendah) sebagai berikut ini :

DTBPA *hipereutrof* = 12.072,58 Kg P/tahun
DTBPA *oligotrof* = 39.722,33 Kg P/tahun

Ketika waduk berstatus *hipereutrof*, total daya tampung beban pencemarannya hanya 12.072,58 Kg P/tahun, sedangkan jika diturunkan menjadi status *oligotrof*, total daya tampung beban pencemarannya menjadi besar yaitu, 39.722,33 Kg P/tahun, hal ini dikarenakan pada kondisi *hipereutrof* kadar Total P sangat tinggi yang berkonstribusi pada total daya tampung yang dimiliki oleh waduk, sedangkan pada kondisi *oligotrof* total daya tampung beban pencemarannya menjadi lebih besar, dikarenakan pada kondisi ini diharap kadar rata-rata Total P sangat sedikit sehingga tidak terjadi *eutrofikasi* (pengkayaan nutrisi) yang akan menyebabkan fenomena *alga bloom* dan prosentase penurunan yang harus dilakukan adalah 69,61 % dari waduk yang berstatus *hipereutrof* menjadi *oligotrof*.

KESIMPULAN

1. Dari hasil perbandingan data pengukuran kualitas air dengan standar kualitas air yang digunakan, maka diketahui bahwa data mutu air sebelum erupsi pada stasiun hulu yang memenuhi dan tidak memenuhi standar kualitas air air adalah masing-masing sebanyak 24 data (60%) dan 16 data (40%). Sementara pada stasiun tengah, data yang memenuhi dan tidak memenuhi standar kualitas air air adalah masing-masing sebanyak 29 data (73%) dan 11 data (28%). Perbandingan pada periode pasca erupsi menunjukkan bahwa data mutu air pada Stasiun hulu yang memenuhi dan tidak memenuhi standar kualitas air air adalah masing-masing sebanyak 41 data (69%) dan 18 data (31%). Sementara, pada Stasiun Tengah, data yang memenuhi dan tidak memenuhi

standar kualitas air air adalah masing-masing sebanyak 38 data (64%) dan 21 data (36%).

2. Waktu yang dibutuhkan untuk pemulihan kualitas air di Waduk Selorejo pasca erupsi Gunung Kelud adalah 111 hari untuk parameter pH dan Nitrat, 71 hari untuk parameter DO, 54 hari untuk parameter kekeruhan. Parameter suhu, ammonia, nitrit, Cu, dan Cr, menunjukkan angka yang masih memenuhi nilai kisaran standar sepenjang periode observasi sehingga tidak dibutuhkan waktu pemulihan (0 hari). Sementara nilai konsentrasi total – P dan silika belum kembali normal hingga akhir periode penelitian (25 Agustus 2014).
3. Status mutu air di Waduk Selorejo pasca erupsi pada stasiun monitoring hulu menunjukkan kondisi "Tercemar Ringan". Hasil yang sama ditunjukkan pada stasiun monitoring tengah.
4. Parameter pencemar terbesar pada stasiun hulu adalah total – P dan nitrat. Parameter pencemar terbesar pada stasiun tengah adalah total – P, silika, dan nitrat.
5. Berdasarkan hasil rekapitulasi status trofik di berbagai stasiun dan musim dapat disimpulkan bahwa Waduk Selorejo sebelum erupsi sampai setelah erupsi sudah mengalami *eutrofikasi* di semua bagian dengan prosentase 33% - 100 % *hipereutrof* menurut parameter Total P dan kadar *klorofil a* yang merupakan hasil perkembangan dari kadar Total P dan NO_3N
6. Pada penentuan daya tampung beban pencemaran didapatkan hasil untuk status *hipereutrof* terhadap kadar Total P sebesar 12.072,58 Kg P/tahun, dan ketika status ini diturunkan menjadi *oligotrof* daya tampung beban pencemaran Waduk Selorejo semakin besar yaitu, 39.722,33 Kg P/tahun dengan prosentase peningkatan daya tampung beban pencemaran waduk sebesar 69,61 % dari waduk yang berstatus *hipereutrof* ,untuk menurunkan status ini, maka dibutuhkan pengerukan sedimen yang dilakukan pada bulan Agustus 2014, dengan pengerukan ini, maka kandungan klorofil a dan Total P yang mengendap bersama sedimen dapat diminimalisir sampai ambang batas aman bagi peruntukan Waduk Selorejo kecamatan Ngantang kabupaten Malang.

DAFTAR PUSTAKA

1 Anonim. 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 tentang ***Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air***. Jakarta : RI

2 Anonim. 2009. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 28. tentang ***Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau Dan/Atau Waduk***. Jakarta : KLH

3 BBTKL Yogyakarta. 2014. ***Laporan Dampak Hujan Abu Vulkanik Gunung Kelud***. http://dinkes.jogjaprov.go.id/berita/detil_berita/666-laporan-dampak-hujan-abu-vulkanik-gunung-kelud. Diakses pada September 2014

4 Boyd, Claude E. 1982. ***Water quality management for pond fish culture***. Elsevier Scientific Pub. Co., 1982

5 Carlson, R.E. and J. Simpson. 1996. ***A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods***. North American Lake Management Society. 96 pp.

6 Djokosetiyanto et al, 2006. ***Perubahan Ammonia (NH3-N), Nitrit (NO2-N) dan Nitrat (NO3-N) Pada Media Pemeliharaan Ikan Nila Merah (Oreochromis sp.) di Dalam Sistem Resirkulasi***.

7 Effendi, Hefni. 2003. ***Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan***. Yogyakarta: Kanisius

8 Eisler, Ronald. 1993. ***Zinc Hazard to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A synoptic Review***. Maryland: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.

9 Gusrina. 2008. **Budidaya Ikan I**. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

10 Hadi, Anwar. 2005. ***Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan***. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama

11 Heath, Alan G. 1995. ***Water Pollution and Fish Physiology***. Florida: CRC Press.

12 Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang ***Pedoman Penentuan Status Mutu Air***, Jakarta.

13 Sadana, Fernandez Ngariswara Vidsia. 2014. ***Dampak Krom Pada Limbah Buangan Industri Penyamakan Kulit di Sungai Gajah Wong Terhadap Mortalitas dan Morfologi Fisik dan Insang Ikan Nila Hitam (Oreochromis niloticus)***. Yogyakarta: Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya.

14 Siswadi, A. 2010. **Abu Vulkanik Merapi Mematikan**.

http://www.tempointeraktif.com/hg/kesra/2010/11/05/brk,2010110528-9759,id.html. Diakses pada Agustus 2014

15 Tancung, Andi Baso et al. 2002. ***Pengelolaan Kualitas Air***. Jakarta: Rineka Cipta.