

STUDI PENGARUH KERAMBA JARING APUNG (KJA) TERHADAP KUALITAS AIR DI WADUK KEDUNG OMBO DENGAN CITRA LANDSAT-8 MULTITEMPORAL

Ertha Silalahi^{*)}, Andri Suprayogi, Abdi Sukmono

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
 Email : erthasilalahi@yahoo.com^{*)}

ABSTRAK

Waduk Kedung Ombo merupakan sebuah bendungan raksasa terletak di Provinsi Jawa Tengah dimana dikelilingi oleh tiga kabupaten yaitu Kabupaten Grobogan, Kabupaten Sragen, dan Kabupaten Boyolali tepatnya di Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan. Keberadaan Waduk Kedung Ombo dengan area yang begitu luas menjadikannya memiliki peranan yang sangat penting bagi masyarakat sekitar yaitu sebagai penyedia sumber air utama. Selain sebagai sumber air utama, Waduk Kedung Ombo juga memiliki peranan penting dalam sektor perikanan yaitu kegiatan budidaya ikan dengan menggunakan Keramba Jaring Apung (KJA) yang dimana jika berkembang pesat akan menimbulkan dampak negatif yaitu penurunan kualitas perairan waduk. Pada penelitian ini pengambilan titik sampel dilakukan pada bulan April 2018 yang diambil secara acak pada perairan Waduk Kedung Ombo. Hasil sampling akan diuji di laboratorium dimana hasilnya akan digunakan dalam pengolahan algoritma masing-masing pada citra Landsat-8 dan pada KJA diperoleh perubahan jumlah untuk setiap tahunnya. Konsentrasi TSS dan kandungan klorofil-a yang diperoleh digunakan untuk mengetahui distribusi pencemaran dan kesuburan air yang nantinya dikaitkan dengan perubahan jumlah KJA. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan luas KJA dari tahun 2013, 2014, 2016 dan 2018 mengalami kenaikan setiap tahunnya. Kualitas air waduk untuk tahun 2013, 2014, 2016 dan 2018, berada dalam keadaan memenuhi baku mutu dan berstatus trofik *oligotrof*. Berdasarkan rentang nilai klasifikasi pencemaran air, konsentrasi TSS tertinggi tahun 2013 berada pada rentang 0 – 100 mg/l, untuk tahun 2014 dengan rentang 100 – 500 mg/l, untuk tahun 2016 dan 2018 memiliki rentang sebesar >1000 mg/l . Sedangkan berdasarkan rentang nilai klasifikasi kesuburan air, kandungan klorofil-a tertinggi dari tahun 2013, 2014, 2016 tetap berada pada rentang 2,6 – 7,3 mg/l dan pada tahun 2018 naik hingga berada pada rentang 7,3 – 56 mg/l. Dengan demikian konsentrasi TSS lebih menunjukkan kenaikan lebih signifikan dari pada kandungan klorofil-a yang artinya KJA lebih mempengaruhi secara signifikan terhadap konsentrasi TSS.
Kata Kunci : Indeks Pencemaran, KJA, Klorofil-a, Status Trofik, *Total Suspended Solid*, Waduk Kedung Ombo

ABSTRACT

Kedung Ombo Reservoir is a giant dam located in Central Java Province that surrounded by three districts of Grobogan Regency, Sragen Regency, and Boyolali Regency precisely in Geyer Subdistrict, Grobogan Regency. The existence of the Kedung Ombo Reservoir that has a very high area makes a very important role for the surrounding community, as the main source of water. Aside from being the main source of water, Kedung Ombo Reservoir also has an important role in the fisheries sector it is a fish cultivation activities using Floating Net Cages where if developed rapidly, will have a negative impact, that is reducing the quality of reservoir waters. In this research, the sampling points was conducted in April 2018 which was taken randomly at the waters of the Kedung Ombo Reservoir. The sampling results will be tested in a laboratory where the results will be used in the processing of each algorithm on Landsat-8 imagery and change in the number of floating net cages for each year. Obtained value of TSS concentration and chlorophyll-a content are used to determine the distribution of water pollution and fertility which will be associated with changes in the amount of floating net cages. The results obtained from this study show that changes in the area of KJA from 2013, 2014, 2016 and 2018 have increased every year. The quality of reservoir waters from 2013, 2014, 2016 and 2018, water pollution and water fertility stil meet the quality standard class and in oligotroph trophic status. Based on value range data of classification of water pollution, the highest concentration of TSS in 2013 was in the range 0-100 mg / l, for 2014 has range of 100 - 500 mg / l, for 2016 and 2018 had range of > 1000 mg / l. While based on value range data of classification of water fertility, the highest content value of chlorophyll-a from 2013, 2014, 2016 remained in the range 2,6 – 7,3 mg / l and in 2018 it was in the range 7,3 - 56 mg / l. Therefore, the TSS concentration showed a more significant increase than the content value of chlorophyll-a, which means that floating net cages significantly affected the increase in TSS concentration.

Keyword: *Chlorophyll-a, Floating Net Cage, Kedung Ombo Reservoir, Pollution Index, Total Suspended Solid, Trophic Status*

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Waduk Kedung Ombo merupakan waduk terbesar di Indonesia yang terletak di Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan dan dikelilingi oleh tiga kabupaten yaitu Kabupaten Grobogan, Kabupaten Sragen, dan Kabupaten Boyolali. Waduk Kedung Ombo ini memiliki area seluas 6.576 Ha, 2.830 Ha untuk luas perairan dan 3.746 Ha untuk lahan daratan. Keberadaan Waduk Kedung Ombo dengan area yang begitu luas menjadikannya memiliki peranan yang sangat penting bagi masyarakat sekitar yaitu sebagai penyedia sumber air utama.

Dewasa ini dalam sektor perikanan, perkembangan kegiatan budidaya ikan dengan Keramba Jaring Apung (KJA) sangatlah banyak diminati. Namun, semakin berkembangnya kegiatan budidaya KJA di perairan waduk maka semakin banyak sisa pakan dan hasil metabolisme ikan akan terurai didalam air yang cenderung meningkatkan unsur hara seperti N dan P sehingga mempercepat *eutrofikasi*. *Eutrofikasi* dapat menyebabkan *blooming algae* dan menurunkan kualitas perairan waduk (Taufiq, 2014). Perubahan penurunan kualitas perairan jika terjadi akan menyebabkan sulitnya pengoperasian dan pemeliharaan waduk.

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dapat digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis pengaruh KJA terhadap kualitas perairan Waduk Kedung Ombo dari pada dengan monitoring langsung ke lapangan dan uji laboratorium. Teknologi penginderaan jauh dapat mengidentifikasi dan menganalisis hasil perekaman karakteristik spektral air dengan parameter-parameter kualitas air. Dimana untuk menilai kualitas air penelitian ini menggunakan parameter konsentrasi Klorofil-a yang digunakan untuk mengetahui tingkat kesuburan air dan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) yang digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran air. Penggunaan menggunakan metode-metode yang tepat nantinya mampu menampilkan hasil pengaruh KJA terhadap kualitas air Waduk Kedung Ombo sesuai dengan yang diharapkan.

Informasi tingkat kesuburan dan pencemaran air diperoleh dari konsentrasi TSS hasil algoritma Budhiman (2004) dan kandungan klorofil-a hasil algoritma Wibowo dkk (1994). Keramba Jaring Apung diidentifikasi dengan cara digitasi pada Google Earth dalam memisahkan batas perairan dan KJA. Setelah itu dilakukan analisis pengaruh KJA terhadap kualitas air yang terjadi dari tahun ke tahun dengan hasil akhir berupa kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian.

I.1 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana perkembangan luasan penyebaran Keramba Jaring Apung di Waduk Kedung Ombo secara multitemporal?

2. Bagaimana distribusi kesuburan dan pencemaran air berdasarkan konsentrasi Klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS) di Waduk Kedung Ombo secara multitemporal?
3. Bagaimana pengaruh temporal keramba jaring apung terhadap distribusi kesuburan dan pencemaran air berdasarkan konsentrasi Klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS) di Waduk Kedung Ombo?

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perkembangan luasan penyebaran Keramba Jaring Apung di Waduk Kedung Ombo secara multitemporal.
2. Mengetahui distribusi kesuburan dan pencemaran air berdasarkan konsentrasi Klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS) di Waduk Kedung Ombo secara multitemporal.
3. Mengetahui pengaruh keramba jaring apung terhadap distribusi kesuburan dan pencemaran air berdasarkan konsentrasi Klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS) di Waduk Kedung Ombo secara multitemporal.

I.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Wilayah penelitian ini dilakukan di Waduk Kedung Ombo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah.
2. Data pengukuran lapangan (*in situ*) Korofil-a dan TSS di perairan Waduk Kedung Ombo menggunakan data sampel air yang diambil secara acak pada badan air waduk yang terdapat KJA yang mengelompok dan diuji dalam laboratorium.
3. Algoritma Wibowo dkk (1994) untuk konsentrasi klorofil-a dan algoritma Syarif Budhiman (2004) untuk *Total Suspended Solid* pada Waduk Kedung Ombo.
4. Pendugaan model algoritma dilakukan menggunakan beberapa persamaan regresi, yaitu : regresi linear, eksponensial, logaritmik antara nilai konsentrasi klorofil-a dan TSS *in situ* dengan nilai reflektansi citra pada *band* biru, hijau dan merah.
5. Mengetahui pengaruh antara keramba jaring apung terhadap TSS untuk distribusi pencemaran dan klorofil-a untuk distribusi kesuburan air yang telah di *buffer* 200 meter sekitar area KJA.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 *Total Suspended Solid*

Total Suspended Solid atau padatan tersuspensi total (TSS) adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Konsentrasi TSS dalam perairan umumnya terdiri dari fitoplankton, zooplankton, limbah manusia, limbah hewan, lumpur, sisa tanaman dan hewan, serta

limbah industri. Bahan-bahan yang tersuspensi di perairan alami tidak bersifat toksik, akan tetapi jika jumlahnya berlebihan dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang selanjutnya menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air (Effendi, 2000 dalam Baktiar, 2016).

II.2 Algoritma Total Suspended Solid

Algoritma Budhiman (2004)

Algoritma ini dikembangkan di wilayah perairan Delta Mahakam dengan metode yang dikembangkan berdasarkan *bio optical modelling* untuk menganalisis suatu distribusi dari materi yang tersuspensi dengan menggunakan *band* kanal 4.

$$TSS(mg/l) = 3,3238 * \exp^{(34.099 * red\ band)} \dots\dots\dots(II.1)$$

Keterangan :

TSS : *Total Suspended Solid*

Red Band : nilai reflektan *band* 4

II.3 Penentuan Indeks Pencemaran

Hasil pengolahan data citra *Total Suspended Solid* (TSS) dan hasil uji laboratorium selanjutnya dilakukan perhitungan dengan indeks pencemaran sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.115 Tahun 2003 tentang Status Mutu Air sebagai pembanding dengan buku mutu untuk mengerahui tingkat pencemaran di lokasi titik sampling tersebut. Rumus untuk perhitungan indeks pencemaran sebagai berikut :

$$PI = Ci / Lij$$

Dimana :

Ci : konsentrasi parameter kualitas air (TSS)

Lij : konsentrasi parameter kualitas air yang dicatumkan dalam Baku Mutu Peruntukan Air.

Valuasi terhadap nilai PI adalah:

0 ≤ PI ≤ 1,0 : memenuhi baku mutu (kondisi baik).

1,0 < PI ≤ 5,0 : tercemar ringan.

5,0 < PI ≤ 10 : tercemar sedang.

PI > 10 : tercemar berat.

II.4 Fitoplankton

Tinggi rendahnya kandungan nitrat dan fosfat di suatu perairan dapat mempengaruhi kelimpahan fitoplankton, sehingga nitrat dan fosfat juga dapat mempengaruhi kandungan klorofil-a yang terkandung dalam fitoplankton. Fitoplankton merupakan tumbuhan yang memiliki klorofil-a yang berfungsi mengubah sinar matahari menjadi energi kimia yang diperlukan untuk melakukan proses fotosintesis (Ayuningsih dkk., 2014).

II.5 Klorofil-a

Kandungan klorofil-a merupakan salah satu pigmen aktif di dalam tubuh tumbuhan yang berperan sangat penting dalam berlangsungnya proses fotosintesis di perairan (Prezelein, 1998 dalam Paramitha, 2014). Pengukuran konsentrasi klorofil-a perairan merupakan salah satu cara menentukan produktivitas primer atau kesuburan suatu perairan (Nybakken, 1992 dalam Franky, 2015).

II.6 Algoritma Klorofil-a

Algoritma Wibowo dkk (1994) ini menggunakan rasio *band* yang menyesuaikan dengan panjang gelombang Landsat-8 yaitu TM 2 pada Landsat TM sama dengan rasio *band* 3 pada Landsat-8 dan TM 3 sama dengan rasio *band* 4 pada Landsat-8.

$$Chl = 2,41 * \frac{TM3}{TM2} + 0,187$$

Keterangan :

Chl : konsentrasi klorofil-a (mg/l)

TM 2 : Kanal 2 Landsat TM

TM3 : Kanal 3 Landsat TM

II.7 Status Trofik

Pada pengolahan Klorofil-a, nilai konsentrasi diperoleh dari hasil regresi antara data hasil uji laboratorium dengan algoritma pada citra yang kemudian akan diklasifikasikan berdasarkan kesuburan air menggunakan indeks trofik Carlson & Simpson (1996) mengenai kriteria status trofik perairan yang dimana sebagai berikut:

Tabel-1 Kriteria Status Trofik Perairan

Status Trofik	Kadar Rata-rata Klorofil-a (mg/l)
<i>Oligotrof</i>	< 2,6
<i>Mesotrof</i>	2,6 – 7,3
<i>Eutrof</i>	7,3 – 56
<i>Hipereutrof</i>	>56

II.8 Uji Regresi

Uji regresi dilakukan untuk mendapatkan model hubungan antara variabel X (nilai klorofil-a atau TSS hasil pengolahan citra) dengan variabel Y (nilai klorofil-a atau TSS *in situ*), dari uji regresi akan diperoleh model hubungan variabel dan nilai koefisien determinasi (R²). Nilai koefisien determinasi antara 0 sampai dengan 1, semakin besar nilai koefisien determinasi menandakan bahwa semakin besar kecocokan antara kedua variabel

III. Metodologi Penelitian

III.1 Data dan Peralatan

Data dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini:

1. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Klorofil-a dan TSS insitu Tanggal 3 April 2018.
- b. Data persebaran titik-titik koordinat untuk masing-masing titik sampel Tanggal 3 April 2018.
- c. Citra Landsat 8 L1TP *Path* 120 *Row* 65 dengan akuisisi Tanggal 3 April 2018, 19 Agustus 2016, 23 Agustus 2014 dan 24 Juni 2013.
- d. Visibilitas horizontal, *wind speed* dan *azimuth wind speed* Tanggal 3 April 2018, 10 Agustus 2016, 23 Agustus 2014 dan 24 Oktober 2013.

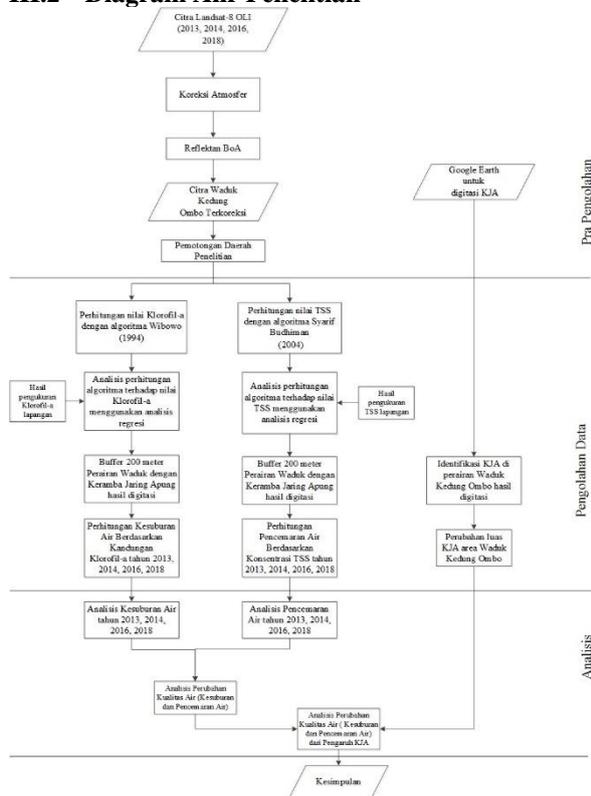
e. Solar zenithal angel, Solar azimuthal angel, Sensor zenithal angel, Sensor azimuthal angel.

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi 2, yaitu:

- a. Peralatan Pengolahan Data
 - Laptop ASUS A455L Intel Core i3 CPU @ 1.9 GHz , RAM : 6.00 GB , 64-bit Operating System
 - Software Envi, ArcGIS, 6SV Web, Microsoft Office
- b. Peralatan Pengukuran Lapangan
 - GPS Handheld
 - Botol tempat air sampel
 - Perahu motor
 - Kamera.

III.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar -1 Diagram Alir Penelitian

III.3 Tahap Pra-Pengolahan

III.3.1 Pemilihan Citra

Dalam penelitian ini citra satelit yang digunakan adalah citra Landsat-8 OLI L1TP. Citra yang dipilih harus terbebas dari awan terutama untuk daerah yang akan dikaji.

III.3.2 Koreksi Atmosfer

Pada penelitian ini koreksi atmosfer menggunakan 6SV (*Second Simulation of the Sensor Signal in the Sensor Spectrum-vector*) yang hasilnya berupa reflektan *Bottom of Atmosphere* (BoA). Data-data yang dibutuhkan pada pengolahan ini terdiri atas 6 parameter yaitu *geometrical conditions, atmospherical model, target and sensor altitude,*

spectral conditions, ground reflectant, signal, dan results. Data- data yang digunakan untuk konsentrasi dari *aerosol* menggunakan parameter *visibility(km)*. Tebal optis *aerosol (aerosol thickness)* tergantung pada panjang gelombang *band* yang digunakan selanjutnya dihitung berdasarkan profil atmosferis daerah *Tropical* dan *aerosol Urban Model*.

III.3.3 Cropping Citra

Citra satelit landsat merekam wilayah yang cukup luas, sehingga dilakukan pemotongan atau *cropping* citra hanya pada wilayah penelitian. Pemotongan citra stelit dilakukan pada area Waduk Kedung Ombo yang selanjutnya digunakan untuk proses pengolahan data.

III.3.4 Digitasi Keramba Jaring Apung pada Google Earth

Digitasi KJA dengan Google Earth dilakukan pada setiap keramba yang terekam Google Earth yang hasilnya nanti digunakan untuk menampilkan perubahan persebaran KJA pada wilayah perairan serta untuk melakukan buffer area KJA sebesar 200 meter. Untuk perihal luasan KJA sendiri diperoleh dari Instansi BBWS Pemali Juana bagian kantor operasional pemeliharaan dan perencanaan waduk

III.4 Tahap Pengolahan

III.4.1 Konsentrasi *Total Suspended Solid* dan Kandungan Klorofil-a

Data *insitu* yang diperoleh dengan melakukan pengambilan sampel di Waduk Kedung Ombo pada tanggal 3 April 2018 nantinya akan diregresikan dengan data TSS hasil algoritma Budhiman (2004) dan klorofil-a hasil algoritma Wibowo dkk (1994) sehingga diketahui kecocokan antara data lapangan dengan data citra dari piksel.

Tabel-2 Data TSS dan Klorofil-a Hasil Laboratorium

Nama Titik	Koordinat (m)		Konsentrasi TSS (mg/l)	Kandungan Klorofil-a (mg/l)
	E	N		
E02	479433	9197790	2	1,113
E01	479646	9197493	5	1,145
06E	478627	9196864	6	0,513
E14	480692	9195561	2	1,405
E13	480833	9194620	4	1,798
E16	481183	9194227	5	1,708
07E	480351	9194347	6	0,919
08E	480530	9193387	4	2,844
E12	481491	9192573	3	1,662
E10	482341	9191320	3	0,966

III.4.2 Klasifikasi Pencemaran Air Menggunakan Metode Indeks Pencemaran

Pengklasifikasian konsentrasi *Total Suspended Solid* dilakukan dengan perhitungan dengan indeks pencemaran sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.115 Tahun 2003 tentang Status

Mutu Air. Konsentrasi untuk kelas tercemar disajikan pada Tabel-3.

Tabel-3 Konsentrasi Kelas Tercemar

Kelas	Nilai (mg/l)	Kosentrasi (mg/l)
Memenuhi Baku Mutu	$0 < PI \leq 1$	0 – 100
Tercemar Ringan	$1 < PI \leq 5$	100 – 500
Tercemar Sedang	$5 < PI \leq 10$	500 – 1000
Tercemar Berat	$PI > 10$	>1000

III.4.3 Klasifikasi Kesuburan Air Menggunakan Status Trofik Perairan

Pengklasifikasian kesuburan air berdasarkan klorofil-a hasil algoritma Wibowo menggunakan indeks trofik Carlson dan Simpson (1996) mengenai kriteria status trofik perairan.

III.4.4 Identifikasi sebaran Keramba Jaring Apung

Identifikasi KJA dengan Google Earth dilakukan dengan cara melakukan digitasi pada setiap keramba yang terekam Google Earth. Digitasi dilakukan untuk memisahkan keramba dengan perairan. Tetapi yang perlu ditekankan yaitu luasan KJA tidak dihasilkan dari proses digitasi. Proses digitasi yang dimaksudkan disini untuk menghasilkan tampilan visual perubahan persebaran KJA dan untuk *buffer* area KJA.

III.5 Tahap Analisis

III.5.1 Analisis Pengaruh Keramba Jaring Apung terhadap Kualitas Air dengan *Buffer*

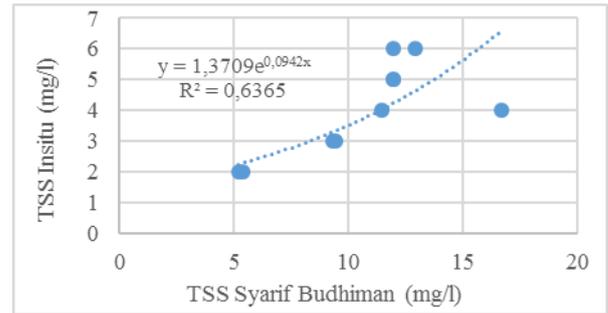
Setelah diperoleh data perubahan jumlah luas keramba jaring apung dan data perubahan kualitas air berdasarkan pencemaran dan kesuburan air yang dilakukan pada *buffer* area 200 meter keramba jaring apung secara multitemporal, selanjutnya dianalisis apakah terdapat pengaruh KJA terhadap kualitas air.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Algoritma Konsentrasi Total Suspended Solid dan Kandungan Klorofil-a

IV.1.1 Konsentrasi Total Suspended Solid menggunakan Algoritma Syarif Budhiman

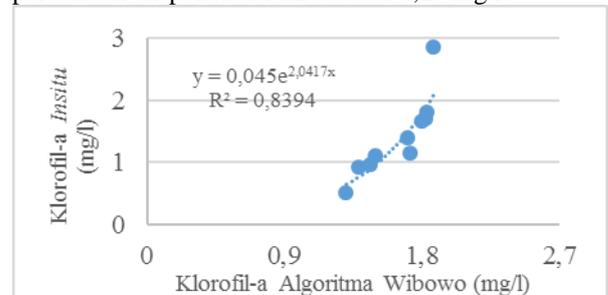
TSS hasil dari pengolahan algoritma dengan nilai TSS *insitu* menghasilkan persamaan $y = 1,3709e^{0,0942x}$ dan nilai koefisien determinasi sebesar 0,6365 atau sebanyak 63,65%. Nilai RMS *error* yang dihasilkan oleh persamaan eksponensial ini sebesar 1,15 mg/l artinya setiap titik memiliki RMS *error* rata-rata sebesar 1,15 mg/l.



Gambar-2 Grafik regresi eksponensial antara TSS algoritma Syarif Budhiman dengan TSS *insitu*

IV.1.2 Kandungan Klorofil-a menggunakan Algoritma Wibowo

Klorofil-a hasil dari pengolahan algoritma Wibowo (1994) dengan nilai klorofil-a *insitu* menghasilkan persamaan $y = 0,045e^{2,0417x}$ dan nilai koefisien determinasi sebesar 0,8394 atau sebanyak 83,94%. Nilai RMS *error* yang dihasilkan oleh persamaan eksponensial ini sebesar 0,29 mg/l.



Gambar-3 Grafik regresi eksponensial antara Klorofil-a algoritma Syarif Budhiman dengan Klorofil-a *insitu*

IV.1.3 Perbandingan Nilai Konsentrasi TSS dan Kandungan Klorofil-a secara Multitemporal

Nilai maksimum dan minimum dilakukan perhitungan pada daerah sekitar KJA dengan daerah seluruh perairan waduk untuk mendapatkan konsentrasi TSS dan kandungan klorofil-a pada daerah yang mempunyai sebaran KJA dengan seluruh perairan waduk yang tidak memiliki sebaran KJA.

Tabel-4 Perbedaan Nilai Konsentrasi TSS dan Klorofil-a 2013

Nilai	Konsentrasi TSS (mg/l)		Kandungan Klorofil-a (mg/l)	
	Hasil Buffer 200 m	Seluruh Perairan Waduk	Hasil Buffer 200 m	Seluruh Perairan Waduk
Minimum	1,93035	0,917563	0,371532	0,0109167
Maksimum	41,3741	8820,38	4,49334	7,94178

Tabel-5 Perbedaan Nilai Konsentrasi TSS dan Klorofil-a 2014

Nilai	Konsentrasi TSS (mg/l)		Kandungan Klorofil-a (mg/l)	
	Hasil Buffer 200 m	Seluruh Perairan Waduk	Hasil Buffer 200 m	Seluruh Perairan Waduk
Minimum	2,5195	2,45406	0,40446	0,175437
Maksimum	139,423	4390	5,93943	12,3585

Tabel-6 Perbedaan Nilai Konsentrasi TSS dan Klorofil-a 2016

Nilai	Konsentrasi TSS (mg/l)		Kandungan Klorofil-a (mg/l)	
	Hasil Buffer 200 m	Seluruh Perairan Waduk	Hasil Buffer 200 m	Seluruh Perairan Waduk
Minimum	1,10157	1,10157	0,027715	0,0277159
Maksimum	1465,54	7810	6,1876	38,2267

Tabel-7 Perbedaan Nilai Konsentrasi TSS dan Klorofil-a 2018

Nilai	Konsentrasi TSS (mg/l)		Kandungan Klorofil-a (mg/l)	
	Hasil Buffer 200 m	Seluruh Perairan Waduk	Hasil Buffer 200 m	Seluruh Perairan Waduk
Minimum	2,11709	1,97844	0,319144	0,227712
Maksimum	3874,42	8082	10,862	33,1563

Nilai konsentrasi TSS dengan kandungan klorofil-a pada daerah hasil *buffer* berbanding lurus, jika konsentrasi TSS naik maka kandungan klorofil-a juga mengalami kenaikan. Artinya jika konsentrasi TSS semakin meningkat maka kondisi perairan mengalami penurunan. Begitu juga untuk kandungan klorofil-a, jika mengalami kenaikan akan berakibat buruk bagi kondisi perairan.

IV.1.4 Hasil Uji Validasi

Uji validasi diperlukan untuk mengetahui tingkat kebenaran hasil pengolahan klorofil-a dan TSS. Titik sampel yang digunakan untuk validasi merupakan 5 titik. Berikut titik koordinat dan nilai klorofil-a dan TSS yang digunakan untuk uji validasi model yang disajikan pada **Tabel-8**:

Tabel-8 Data Titik Sampel *In situ* Waduk Kedung Ombo

Nama Titik	Koordinat (m)		Kandungan Klorofil-a (mg/l)	Konsentrasi TSS (mg/l)
	E	N		
E11	480635	9195150	1,406	4
08Eben	480241	9194004	1,802	5
09E	481168	9192924	0,989	5
E15	482194	9191689	1,426	4
01E	479286	9197503	1,192	6

Nilai klorofil-a dan TSS citra hasil regresi diselisihkan dengan nilai klorofil-a dan TSS lapangan sehingga diperoleh akar kuadrat dari selisih keduanya yaitu RMSe.

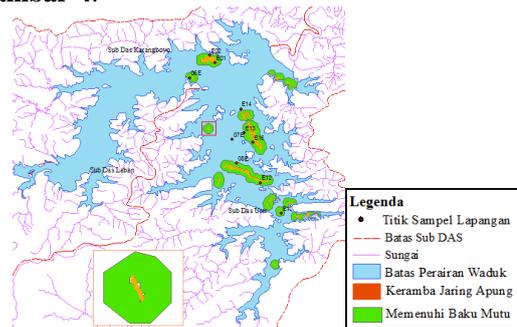
Tabel-9 Nilai RMSe Hasil Validasi Klorofil-a dan TSS

Tahun	RMSe (mg/l)	
	Klorofil-a	Total Suspended Solid
2013	0,322877	0,726798
2014	0,268891	1,020902
2016	0,377130	0,708981
2018	0,233542	0,831027

IV.2 Analisis Distribusi Pencemaran Air

IV.2.1 Hasil Perhitungan Pencemaran Air 2013

Setelah nilai *Total Suspended Solid* (TSS) diperoleh dengan menggunakan algoritma Budhiman (2004) selanjutnya dilakukan proses klasifikasi nilai konsentrasi TSS terhadap nilai indeks pencemaran yang sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.115 Tahun 2003 tentang Status Mutu Air. Kemudian dilakukan perhitungan nilai pencemaran air sesuai dengan indeks pencemaran sehingga diperoleh hasil yang ditampilkan pada **Gambar-4**:

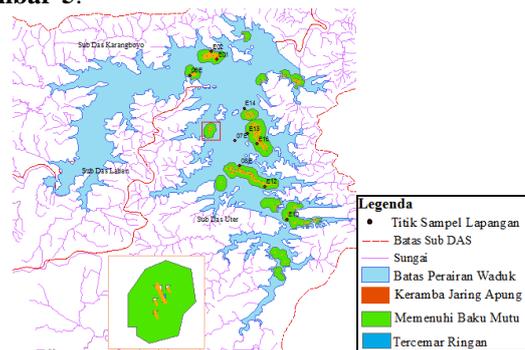


Gambar-4 Distribusi Pencemaran Air Hasil *Buffer* 200 meter

Dari hasil pengklasifikasian yang dilakukan diperoleh hanya kelas memenuhi baku mutu (belum tercemar) dengan luas sebesar 381,42 ha atau 100 % dari seluruh wilayah perairan Waduk Kedung Ombo. Dari hasil klasifikasi pencemaran air secara keseluruhan hanya terdapat kelas memenuhi baku mutu

IV.2.2 Hasil Perhitungan Pencemaran Air 2014

Hasil perhitungan nilai pencemaran dan luas daerah pencemaran sesuai dengan indeks pencemaran diperoleh sebagai berikut yang ditampilkan pada **Gambar-5**:

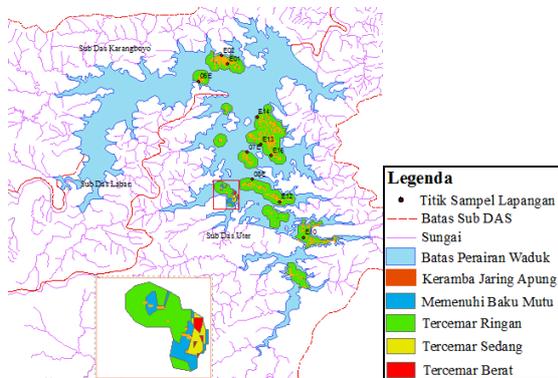


Gambar-5 Distribusi Pencemaran Air Hasil *Buffer* 200 meter 2014

Dari hasil pengklasifikasian tersebut diperoleh kelas memenuhi baku mutu (belum tercemar) sebesar 487,35 ha dengan persentase sebesar 99,982% dan terdapat penambahan kelas tercemar ringan yang menempati luas sebesar 0,09 ha dengan persentase sebesar 0,018 %.

IV.2.3 Hasil Perhitungan Pencemaran Air 2016

Hasil perhitungan nilai pencemaran dan luas daerah pencemaran sesuai dengan indeks pencemaran diperoleh sebagai berikut yang ditampilkan pada **Gambar-6**:

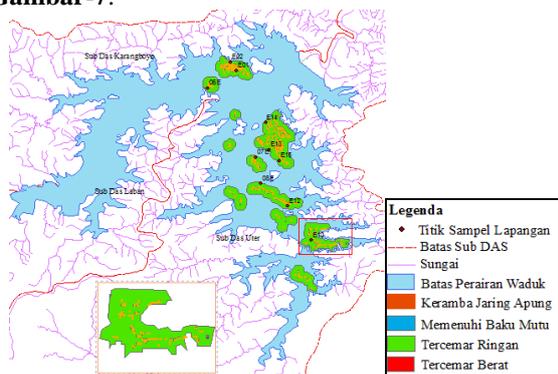


Gambar-6 Distribusi Pencemaran Air Hasil Buffer 200 meter 2016

Dari hasil pengklasifikasian tersebut diperoleh bahwa semua kelas pencemaran memiliki masing-masing luas. Kelas memenuhi baku mutu (belum tercemar) sebesar 517,95 ha atau dengan persentase sebesar 96,853%. Kelas tercemar ringan memiliki luas sebesar 11,07 ha, kelas tercemar sedang seluas 4,23 ha dan untuk kelas tercemar berat seluas 1,53 ha dengan persentase sebesar 0,33 % menyebar di wilayah perairan waduk penelitian.

IV.2.4 Hasil Perhitungan Pencemaran Air 2018

Hasil perhitungan nilai pencemaran dan luas daerah pencemaran sesuai dengan indeks pencemaran diperoleh sebagai berikut yang ditampilkan pada **Gambar-7**:



Gambar-7 Distribusi Pencemaran Air Hasil Buffer 200 meter 2018

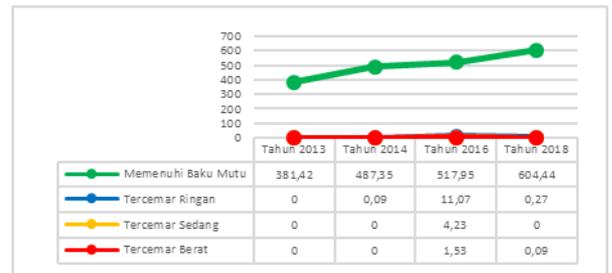
Dari hasil pengklasifikasian tersebut diperoleh pengurangan kelas pencemaran dimana tercemar sedang tidak terdapat pada wilayah perairan. Kelas memenuhi baku mutu (belum tercemar) sebesar 604,44 ha dengan persentase sebesar 99,94%. Kelas tercemar ringan sebesar 0,27 ha dan kelas tercemar berat seluas 0,09 ha dengan persentase sebesar 0,015 %.

IV.2.5 Distribusi Nilai Pencemaran Air Multitemporal

Adapun hasil dari pengolahan nilai pencemaran air secara multitemporal sebagai berikut yang ditampilkan pada **Tabel-10**:

Tabel-10 Perbandingan Luas Daerah Pencemaran Air Tahun 2013, 2014, 2016 dan 2018

Kelas	Nilai (mg/l)	Luas (ha) 2013	Luas (ha) 2014	Luas (ha) 2016	Luas (ha) 2018
Memenuhi Baku Mutu	$0 < PI \leq 1$	381,42	487,35	517,95	604,44
Tercemar Ringan	$1 < PI \leq 5$	0	0,09	11,07	0,27
Tercemar Sedang	$5 < PI \leq 10$	0	0	4,23	0
Tercemar Berat	$PI > 10$	0	0	1,53	0,09
Total		381,42	487,44	534,78	604,80



Gambar-8 Perubahan Luas Daerah Pencemaran Air tahun 2013, 2014, 2016, dan 2018

Dari **Tabel-10** diperoleh pada tahun 2013 hanya terdapat kelas memenuhi baku mutu sehingga kondisi perairan berada dalam keadaan memenuhi baku mutu. Pada tahun 2014 kelas memenuhi baku mutu mengalami kenaikan luas dari tahun sebelumnya sebesar 105,93 ha dan terdapat kelas tercemar ringan dengan luas sebesar 0,09 ha sehingga pada tahun 2014 kondisi perairan berada dalam keadaan memenuhi baku mutu karena mendominasi wilayah perairan. Untuk tahun 2016, kelas memenuhi baku mutu dan tercemar ringan mengalami kenaikan luas dari tahun sebelumnya dimana kelas memenuhi baku mutu naik sebesar 30,6 ha dan tercemar ringan sebesar 10,98 ha, serta terdapat kelas tercemar sedang seluas 4,23 ha dan tercemar berat seluas 1,53 ha sehingga kondisi perairan berada dalam keadaan memenuhi baku mutu karena masih mendominasi. Untuk tahun 2018, kelas memenuhi baku mutu mengalami kenaikan luas sebesar 86,49 ha, kelas tercemar ringan dan tercemar berat mengalami pengurangan luas sebesar 10,8 ha untuk tercemar ringan dan 1,44 ha untuk tercemar berat serta terjadi pengurangan kelas pada kelas tercemar sedang sehingga kondisi perairan berada dalam keadaan memenuhi baku mutu karena masih mendominasi.

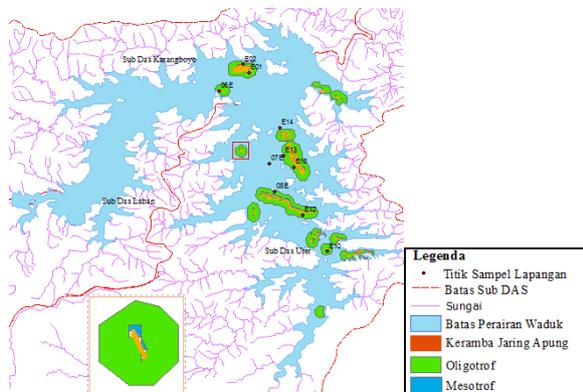
Oleh karena itu, kualitas perairan Waduk Kedung Ombo berdasarkan pencemaran air dari tahun 2013 sampai 2018 berada dalam kelas memenuhi baku mutu (belum tercemar) karena selalu mendominasi wilayah perairan setiap tahunnya.

IV.3 Analisis Distribusi Kesuburan Air

IV.3.1 Hasil Perhitungan Kesuburan Air 2013

Hasil pengolahan citra satelit menggunakan algoritma Wibowo dkk (1994) untuk menentukan kandungan klorofil-a diklasifikasikan berdasarkan pada PerMNLH Nomor 28 tahun 2009 dan Carlson

dan Simpson (1996) mengenai kriteria status trofik perairan. Berikut merupakan kriteria satu trofik perairan hasil klasifikasi yang disajikan pada **Gambar-9**:

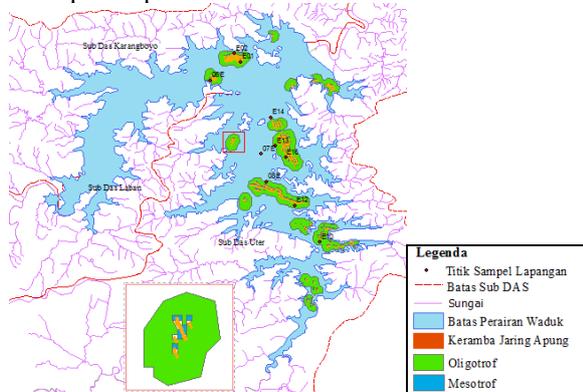


Gambar-9 Distribusi Kesuburan Air 2013

Dari hasil pengklasifikasian tersebut diperoleh hanya status trofik *oligotrof* dan *mesotrof* yang berada dalam perairan waduk dengan luas sebesar 354,42 ha dengan persentase 92,921%, untuk status trofik *oligotrof* dan sebesar 27 ha dengan persentase 7,079% untuk status trofik *mesotrof*.

IV.3.2 Hasil Perhitungan Kesuburan Air 2014

Hasil perhitungan nilai kesuburan dan luas daerah kesuburan air sesuai dengan status trofik pencemaran diperoleh sebagai berikut yang ditampilkan pada **Gambar-10**:

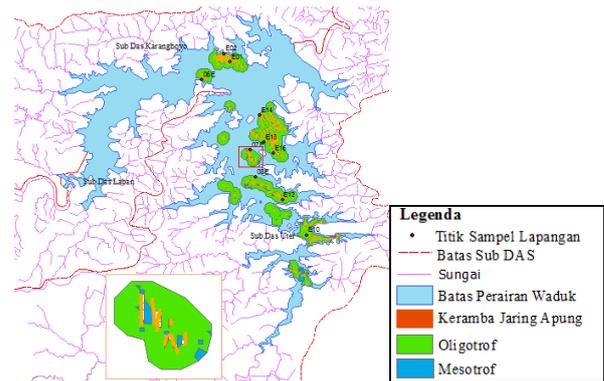


Gambar-10 Distribusi Kesuburan Air 2014

Dari hasil pengklasifikasian tersebut status trofik perairan masih sama seperti tahun 2013 dimana hanya terdapat status trofik *oligotrof* dan *mesotrof*. Status trofik *oligotrof* sebesar 449,73 ha dengan persentase 92,264% dan status trofik *mesotrof* sebesar 37,71 ha dengan persentase 7,736%.

IV.3.3 Hasil Perhitungan Kesuburan Air 2016

Hasil perhitungan nilai kesuburan dan luas daerah kesuburan air sesuai dengan status trofik pencemaran diperoleh sebagai berikut yang ditampilkan pada **Gambar-11**:

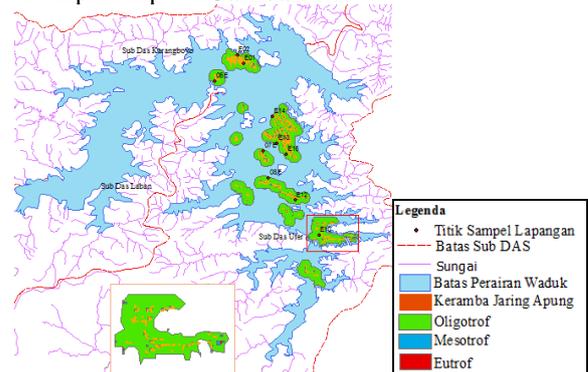


Gambar-11 Distribusi Kesuburan Air 2016

Dari hasil pengklasifikasian tersebut diperoleh status trofik masih berada pada status trofik *oligotrof* dan *mesotrof*. Status trofik *oligotrof* memiliki luas sebesar 515,7 ha dengan persentase 96,432% dan status trofik *mesotrof* sebesar 19,08 ha dengan persentase 3,568%.

IV.3.4 Hasil Perhitungan Kesuburan Air 2018

Hasil perhitungan nilai kesuburan dan luas daerah kesuburan air sesuai dengan status trofik pencemaran diperoleh sebagai berikut yang ditampilkan pada **Gambar-12**:



Gambar-12 Distribusi Kesuburan Air 2018

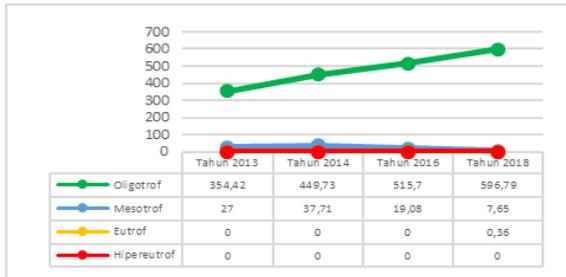
Dari hasil pengklasifikasian tersebut diperoleh luas status trofik *oligotrof* sebesar 596,79 ha dengan persentase 98,676%, status trofik *mesotrof* sebesar 7,65 ha dan terdapat penambahan status trofik *eutrof* seluas 0,36 ha dengan persentase 0,059%.

IV.3.5 Distribusi Nilai Kesuburan Air Multitemporal

Hasil pengolahan nilai kesuburan air multitemporal disajikan pada Tabel IV-14 sebagai berikut:

Tabel-11 Perbandingan Luas Daerah Kesuburan Air tahun 2013, 2014, 2016 dan 2018

Kelas	Nilai (mg/l)	Luas (ha) 2013	Luas (ha) 2014	Luas (ha) 2016	Luas (ha) 2018
<i>Oligotrof</i>	<2,6	354,42	449,73	515,7	596,79
<i>Mesotrof</i>	2,6 – 7,3	27	37,71	19,08	7,65
<i>Eutrof</i>	7,3 – 56	0	0	0	0,36
<i>Hipereutrof</i>	>56	0	0	0	0
Total		381,42	487,44	534,78	604,80



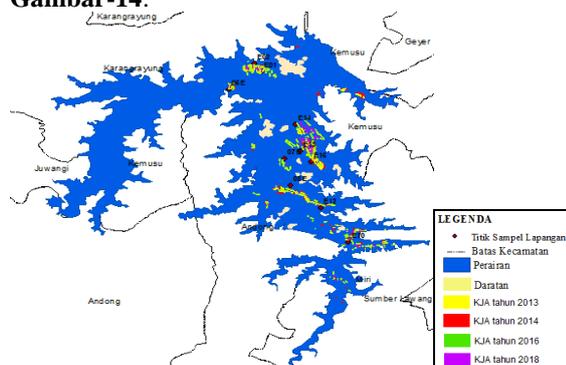
Gambar-13 Perubahan Luas Daerah Kesuburan Air tahun 2013, 2014, 2016 dan 2018

Dari **Tabel-11** diperoleh luas sebaran kesuburan air dari tahun 2013 sampai 2018. Untuk tahun 2013 terdapat status trofik *oligotrof* dan *mesotrof* sehingga kondisi perairan dalam berada pada status trofik *oligotrof* karena mendominasi wilayah perairan waduk. Untuk tahun 2014, status trofik *oligotrof* dan *mesotrof* mengalami kenaikan luas sebesar 95,31 ha untuk status trofik *oligotrof* dan 10,71 ha untuk status trofik *mesotrof* sehingga kondisi perairan berada pada status trofik *oligotrof* karena masih mendominasi. Untuk tahun 2016, status trofik *oligotrof* mengalami kenaikan luas sebesar 65,97 dan mengalami pengurangan luas pada status trofik *mesotrof* sebesar 18,63 ha sehingga kondisi perairan berada pada status trofik *oligotrof* karena masih mendominasi. Untuk tahun 2018, status trofik *oligotrof* mengalami kenaikan luas sebesar 81,09 ha, status trofik *mesotrof* mengalami pengurangan luas sebesar 11,43 ha dan terjadi penambahan status trofik *eutrof* sebesar 0,36 ha.

Oleh karena itu, kualitas perairan Waduk Kedung Ombo berdasarkan kesuburan air dari tahun 2013 sampai 2018 berada dalam status trofik *oligotrof* karena selalu mendominasi wilayah perairan setiap tahunnya.

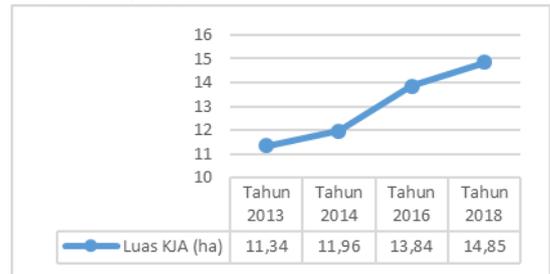
IV.3.6 Identifikasi dan Luas Keramba Jaring Apung Multitemporal

Perubahan persebaran KJA Keramba Jaring Apung di perairan Waduk Kedung Ombo diperoleh dengan melakukan digitasi pada Google Earth untuk yang nantinya digunakan untuk proses *buffer*. Luasan KJA sendiri diperoleh dari Instansi Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. Berikut hasil persebaran keramba jaring apung yang disajikan pada **Gambar-14**:



Gambar-14 Persebaran KJA tahun 2013,2014,2016, 2018

Luas Keramba Jaring Apung dari tahun ke tahun mengalami perubahan luas yang dapat dilihat dari Gambar IV-15 berikut:



Gambar-15 Perbandingan Luasan Keramba Apung tahun 2013, 2014, 2016 dan 2018

Luas KJA dari tahun 2013 sampai 2018 selalu mengalami kenaikan, untuk tahun 2013 sampai 2014 mengalami kenaikan sebesar 0,62 ha, dari tahun 2014 sampai 2016 naik sebesar 1,88 ha dan dari tahun 2016 sampai 2018 mengalami kenaikan 1,01 ha.

IV.3.7 Pengaruh Perubahan Keramba Jaring Apung Terhadap Kualitas Air

Hasil nilai konsentrasi TSS pada **Tabel-4** sampai **Tabel-7** menunjukkan bahwa terjadi kenaikan konsentrasi pada setiap tahunnya dari tahun 2013 sampai 2018. Sedangkan berdasarkan hasil analisis klasifikasi pencemaran air dari **Tabel-10** dan **Gambar-8**, menunjukkan kualitas perairan Waduk Kedung Ombo berdasarkan pencemaran air berada dalam memenuhi baku mutu (belum tercemar) karena mendominasi wilayah perairan dari tahun 2013 sampai 2018. Namun berdasarkan rentang nilai konsentrasi setiap kelas pencemaran berdasarkan **Tabel-3**, diperoleh konsentrasi TSS tertinggi untuk tahun 2013 dengan rentang 0 – 100 mg/l, tahun 2014 dengan rentang 100 – 500 mg/l, tahun 2016 dan 2018 memiliki rentang yang sama sebesar >1000 mg/l. Konsentrasi TSS tertinggi dari tahun 2013 sampai 2016 mengalami kenaikan dan pada tahun 2018 berada pada rentang yang sama seperti tahun sebelumnya.

Hasil nilai kandungan klorofil-a pada **Tabel-4** sampai **Tabel-7** menunjukkan bahwa terjadi kenaikan kandungan klorofil-a setiap tahunnya dari tahun 2013 sampai tahun 2018. Sedangkan berdasarkan hasil analisis klasifikasi kesuburan air dari **Tabel-11** dan **Gambar-13**, menunjukkan kualitas perairan Waduk Kedung Ombo berdasarkan kesuburan air dari tahun 2013 sampai 2018 berada dalam status trofik *oligotrof* karena selalu mendominasi wilayah perairan setiap tahunnya. Status trofik *oligotrof* ini mengandung unsur hara dengan kadar rendah dan menunjukkan kualitas air masih bersifat alamiah belum tercemar dari sumber unsur hara N dan P. Namun berdasarkan rentang nilai kandungan klorofil-a setiap status trofik, dapat dilihat bahwa kandungan klorofil-a tertinggi dari tahun 2013 sampai 2016 berada pada rentang 2,6 – 7,3 mg/l dan tahun 2018 berada pada rentang 7,3 – 56 mg/l. Kandungan klorofil-a dari tahun 2013 sampai 2016 berada pada rentang yang sama dan pada tahun 2018 mengalami kenaikan.

Berdasarkan analisis diatas, jika dilihat dari rentang nilai kelas pencemaran dan status trofik dapat dikatakan bahwa seiring bertambahnya jumlah KJA, konsentrasi TSS dan kandungan klorofil- juga meningkat walaupun tidak terlalu signifikan dimana antara konsentrasi TSS dan kandungan klorofil-a, konsentrasi TSS menunjukkan kenaikan lebih signifikan dari pada kandungan klorofil-a artinya KJA lebih mempengaruhi secara signifikan terhadap konsentrasi TSS. Namun, dilihat berdasarkan klasifikasi pencemaran dan kesuburan air tidak terlihat begitu jelas kenaikan konsentrasi TSS dan kandungan klorofil-a karena kelas memenuhi baku mutu dan status trofik *oligotrof* yang paling mendominasi wilayah perairan dari tahun 2013 sampai 2018.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada tahun 2013, luas keramba jaring apung sebesar 11,34 ha dan tahun 2014 sebesar 11,96 ha. Pada tahun 2016, luas keramba jaring apung sebesar 11,96 ha dan tahun 2018 sebesar 14,85 ha.
2. Berdasarkan hasil analisis klasifikasi pencemaran air, kualitas perairan Waduk Kedung Ombo berada dalam kelas memenuhi baku mutu karena mendominasi wilayah perairan dari tahun 2013 sampai 2018. Namun berdasarkan rentang nilai konsentrasi setiap kelas pencemaran, konsentrasi TSS tertinggi tahun 2013 dengan rentang 0 – 100 mg/l, tahun 2014 dengan rentang 100 – 500 mg/l, tahun 2016 dan 2018 memiliki rentang yang sama sebesar >1000 mg/l. Konsentrasi TSS tertinggi dari tahun 2013 sampai 2016 mengalami kenaikan dan pada tahun 2018 berada pada rentang yang sama seperti tahun sebelumnya. Sedangkan berdasarkan hasil analisis klasifikasi kesuburan air menunjukkan kualitas perairan Waduk Kedung Ombo dari tahun 2013 sampai 2018 berada dalam status trofik *oligotrof* karena selalu mendominasi wilayah perairan setiap tahunnya. Berdasarkan rentang nilai kandungan klorofil-a setiap status trofik, kandungan klorofil-a tertinggi dari tahun 2013 sampai 2016 berada pada rentang 2,6 – 7,3 mg/l dan tahun 2018 berada pada rentang 7,3 – 56 mg/l. Kandungan klorofil-a dari tahun 2013 sampai 2016 berada pada rentang yang sama dan pada tahun 2018 mengalami kenaikan.
3. Hasil pengaruh KJA terhadap kualitas air dilihat dari rentang nilai klasifikasi pencemaran dan kesuburan air dapat dikatakan bahwa seiring bertambahnya jumlah KJA, konsentrasi TSS dan kandungan klorofil-a meningkat walaupun tidak terlalu signifikan dimana antara konsentrasi TSS dan kandungan klorofil-a, konsentrasi TSS menunjukkan kenaikan lebih signifikan dari pada kandungan klorofil-a yang artinya KJA lebih mempengaruhi secara signifikan terhadap

konsentrasi TSS. Namun, jika dilihat berdasarkan klasifikasi pencemaran dan kesuburan air, tidak terlihat begitu jelas kenaikan konsentrasi TSS dan kandungan klorofil-a karena kelas memenuhi baku mutu dan status trofik *oligotrof* yang paling mendominasi wilayah perairan dari tahun 2013 sampai 2018.

V.2 Saran

1. Waktu pengambilan sampel klorofil-a dan *total suspended solid* sebaiknya dilakukan pada waktu yang bersamaan dengan perekaman citra satelit sehingga menghasilkan nilai korelasi yang baik.
2. Jumlah pengambilan sampel sebaiknya dilakukan lebih banyak dan merata agar lebih dapat mewakili daerah yang diteliti.
3. Sebaiknya menggunakan data visibilitas horizontal yang diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat.
4. Menambahkan data lain seperti jumlah dan jenis ikan pada setiap KJA, pakan yang diberikan setiap harinya, oksigen terlarut (DO), kecerahan dll yang berpengaruh pada KJA.
5. Sebaiknya memilih citra dengan resolusi yang lebih tinggi agar mudah dalam identifikasi keramba jaring apung.

DAFTAR PUSTAKA

- Baktiar, A. 2016. Analisis Kesuburan dan Pencemaran Air Berdasarkan Kandungan Klorofil-A dan Konsentrasi Total Suspended Solid Secara Multitemporal di Muara Banjir Kanal Timur. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ayuningsih, M., dkk. 2014. Distribusi Kelimpahan Fitoplankton dan Klorofil-A di Teluk Sekumbu Kabupaten Jepara: Hubungannya dengan Kandungan Nitrat dan Fosfat di Perairan. Universitas Diponegoro, Semarang. 3, 138–147.
- Budhiman, 2004. Mapping TSM Cocentrations from Multisensor Satellite Images in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahaka Delta, Indonesia.
- Carlson, R.E. and J. Simpson. 1996. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society. 96
- Marendy, F., dkk. 2015. Analisis Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-A Menggunakan Citra Satelit Landsat Pada Musim Timur di Perairan Sekitar Muara Sungai Lumpur Kabupaten Oki Provinsi Sumatera Selatan. Universitas Sriwijaya, Indralaya. 9, 33–42.
- Paramitha, A. 2014. Studi Klorofil-A di Kawasan Perairan Belawan Sumatera Utara. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2003. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air*. Jakarta.
- Wibowo, et all. 1994. The Application of Satellite Data Improvement Site Selection and Monitoring Shrimp Pond Culture Case Study on Cirebon, Lampung, Jambi, and Jepara Coasts