

ANALISIS KUALITAS AIR DI DANAU BATUR MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT-8 OLI/TIRS MULTITEMPORAL

Silmina Laili¹, Bowo Eko Cahyono¹, Agung Tjahjo Nugroho¹

¹Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember
Jl. Kalimantan No. 37, Kampus Tegalboto, Jember, Jawa Timur, 68121
e-mail: silminalaili18@gmail.com

(Diterima 25 Juli 2019, Disetujui 11 Juli 2020)

ABSTRAK

Danau Batur terletak di Kabupaten Bangli Provinsi Bali. Keberadaan Danau Batur dengan area yang begitu luas menjadikannya memiliki peranan yang sangat penting bagi masyarakat sekitar yaitu sebagai penyedia sumber air utama. Danau Batur juga memiliki peranan penting dalam sektor perikanan, pertanian, pariwisata dan kegiatan keagamaan. Berdasarkan pada fungsi dan peran utama dari Danau Batur, maka dirasa perlu adanya suatu pengamatan terhadap kualitas air yakni meliputi nilai Total Suspended Solid, tingkat kecerahan dan klorofil-a di Danau Batur. Tingginya nilai TSS akan mempengaruhi tingkat kecerahan air danau tersebut. Selain itu juga berpotensi menurunkan penetrasi cahaya yang masuk ke perairan dan berpengaruh pada kesuburan perairan. Dimana kondisi ini sering diindikasikan dengan keberadaan klorofil-a sebagai indikator biomassa fitoplankton. Dalam penelitian ini digunakan citra satelit Landsat-8 untuk pengamatan kualitas air di Danau Batur tahun 2014-2018. Pengolahan nilai TSS citra memanfaatkan algoritma Trisakti. Sedangkan pengolahan nilai klorofil-a citra memanfaatkan algoritma Wibowo. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase terbesar nilai TSS di danau Batur pada rentang <25 mg/L tahun 2014, 2015, 2016, 2017 dan 2018 berturut-turut adalah 97,86%, 98,19%, 98,62%, 98,15% dan 98,66%. Persentase kecerahan pada kondisi hiperutrofik dengan transparansi 0-70 cm pada tahun 2014, 2015, 2016, 2017 dan 2018 berturut-turut adalah 2,53%, 2,74%, 1,66%, 2,52% dan 2,25%. Sedangkan persentase terbesar nilai klorofil-a pada rentang <2 mg/m³ tahun 2014, 2015, 2016, 2017 dan 2018 berturut-turut adalah 91,41%, 93,3%, 92,71%, 92,64% dan 92,16%. Berdasarkan hasil pengamatan, nilai TSS di Danau Batur pada tahun 2014-2018 tergolong tidak berpengaruh terhadap kepentingan perikanan dan nilai klorofil-a tergolong pada kondisi oligotrof.

Kata kunci : Danau Batur, Total Suspended Solid, Klorofil-a, Kecerahan, Landsat-8.

ABSTRACT

The Lake Batur which is located in Bangli Regency, Bali Province, has a very significant role for the local community. It is well known as an attractive tourism spot and a big reservoir for agriculture and fishery. Moreover the lake is also play an important role for balinese religion. Therefore, studying the quality of the water of the lake is essential for perserving the function of it. In this paper the quality is described using Total Suspended Solid (TSS) . The value of TSS closely related to the the lake water brightness level in which influence to the penetration of the sun light and effect on the fertility of the waters. Where this condition is often indicated by the presence of chlorophyll-a as an indicator of phytoplankton biomass. This study use satellite images Landsat-8 over the period of the year of 2014 to the year of -2018. Trisakti algorithm and Wibowo algorithm are applied to compute the TSS value and the chlorophyll-a value respectively from the image retracted from the Landsat-8. The results show that the largest percentage of TSS values in Lake Batur in the range of <25 mg/L in 2014, 2015, 2016, 2017 and 2018 were 97,86%, 98,19%, 98,62%, 98,15 % and 98,66%. Brightness percentage in hyperutrophic conditions with transparency of 0-70 cm in 2014, 2015, 2016, 2017 and 2018 are 2,53%, 2,74%, 1,66%, 2,52% and 2,25% . While the largest percentage of the value of chlorophyll-a in the range <2 mg/m³ in 2014, 2015, 2016, 2017 and 2018 are respectively 91,41%, 93,3%, 92,71%, 92,64% and 92,16%. Based on observations, the value of TSS in Lake Batur in 2014-2018 was classified as having no effect on fisheries interests and the value of chlorophyll-a was classified as an oligotrophic condition.

Keywords : Batur Lake, Total Suspended Solid, Brightness, Chlorophyll-a Landsat-8.

1. PENDAHULUAN

Danau Batur terletak di Kabupaten Bangli merupakan jenis danau kaldera aktif yang berada pada

ketinggian 1.050 meter di atas permukaan laut. Hasil batimetri terhadap Danau Batur tahun 1975, diketahui bahwa luas permukaan air danau adalah 16,05 km², dengan volume air 815,38 juta m³ dengan kedalaman

rata-rata 50,80 m dan kedalaman maksimum 70 m. Danau Batur bersumber dari air hujan dan rembesan-rembesan air dari pegunungan sekitarnya dengan luas daerah tangkapan 105,35 km² (KLH, 2014). Keberadaan Danau Batur 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, Danau Batur juga memiliki peranan penting dalam sektor perikanan, pertanian/ perkebunan, pariwisata dan kegiatan keagamaan. Keberadaan Danau Batur mulai mengalami banyak masalah mulai dari masalah berkurangnya air hujan yang meresap ke dalam tanah dan meningkatnya limpasan permukaan (runoff) berupa erosi yang membawa material terlarut dan mengendapkan material sedimentasi pada danau. Menurut Suryono et al. (2008), kondisi perairan Danau Batur saat ini cenderung mengalami perubahan, terutama kualitasnya akibat pengaruh aktivitas masyarakat di sekitar danau. Berdasarkan hasil perhitungan selama kurun waktu 37 tahun (1975–2012) telah terjadi sedimentasi di Danau Batur sebanyak 124,71 juta m³, sehingga diperkirakan mengalami pendangkalan setinggi 7,80 m dengan laju sedimentasi 0,21 m per tahun (KLH, 2014).

Menurut Damayanti dan Hernawan (2014), tingkat kekeruhan yang tinggi menandakan bahwa konsentrasi sedimen tersuspensi total (Total Suspended Solid) juga tinggi. Konsentrasi TSS yang tinggi menandakan potensi pendangkalan menjadi besar. Tingginya nilai TSS juga akan mempengaruhi tingkat kecerahan air danau tersebut. Total Suspended Solid yang terdiri dari material pasir halus, lumpur serta jasad-jasad renik ini tentu berpotensi menghambat penetrasi cahaya ke dalam perairan. Hal ini akan mengganggu aktivitas fotosintesis dari tumbuhan air mikroskopis (fitoplankton) untuk melepaskan oksigen di dalam perairan, sehingga kondisi kesuburan perairan juga menurun. Salah satu metode yang dapat dijadikan indikator kesuburan suatu perairan yakni klorofil-a. Menurut Boyer et al. (2009), klorofil-a telah digunakan sebagai indikator terhadap kualitas perairan, karena klorofil-a merupakan indikator biomassa fitoplankton, yang mana kandungannya menggambarkan secara menyeluruh efek dari berbagai faktor yang terjadi karena aktivitas manusia.

Terlepas dari semua permasalahan yang terjadi pada Danau Batur, pemantauan kondisi perairan dapat dilakukan dengan metode penginderaan jauh. Pemantauan kondisi danau Batur dilakukan untuk melihat tingkat kualitas perairan yang akan dilakukan secara periodik. Teknologi penginderaan jauh dapat mengidentifikasi dan menganalisis hasil perekaman karakteristik spektral air dengan parameter-parameter kualitas air. Parameter yang digunakan untuk menilai kualitas air pada penelitian ini menggunakan

konsentrasi Total Suspended Solid (TSS), tingkat kecerahan perairan dan kandungan klorofil-a. Salah satu satelit yang dapat dimanfaatkan adalah Landsat-8.

Proses analisis kualitas air danau dilakukan dengan mencari nilai perhitungan Total Suspended Solid (TSS) dengan menggunakan algoritma Trisakti, yang memanfaatkan kanal merah dari citra satelit Landsat. Selanjutnya penentuan nilai kecerahan diperoleh dari nilai TSS. Sedangkan perhitungan klorofil-a dengan menggunakan algoritma Wibowo, yang memanfaatkan kanal merah dan kanal hijau dari citra satelit Landsat. Berdasarkan pada fungsi dan peran utama dari Danau Batur, maka dirasa perlu adanya suatu pengamatan terhadap nilai dari Total Suspended Solid, tingkat kecerahan dan klorofil-a di Danau Batur dengan memanfaatkan analisis data citra satelit Landsat-8

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Total Suspended Solid (TSS)*

Padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid*) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1 µm) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori 0,45 µm. TSS terdiri dari lumpur dan pasir halus serta jasad renik yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Bahan-bahan tersuspensi dan terlarut di perairan alami tidak bersifat toksik, tapi jika berlebihan TSS dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang akan menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akan berpengaruh terhadap proses fotosintesis di perairan (Effendi, 2003). Kesesuaian perairan untuk kepentingan perikanan berdasarkan nilai padatan tersuspensi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kesesuaian perairan untuk kepentingan perikanan berdasarkan konsentrasi TSS

TSS (mg/L)	Pengaruh terhadap kepentingan perikanan
<25	Tidak berpengaruh
25-80	Sedikit berpengaruh
81-400	Kurang baik bagi kepentingan perikanan
>400	Tidak baik bagi kepentingan perikanan

Sumber: Alabaster dan Lloyd, 1982 dalam Effendi, 2003

2.2 *Algoritma Total Suspended Solid*

Pada proses ini algoritma yang digunakan untuk pengolahan TSS yakni algoritma Trisakti. Algoritma Trisakti menggunakan *band* merah sebagai *input* dari citra satelit Landsat. *Band* merah dapat memberikan identifikasi terhadap nilai

konsentrasi TSS yang lebih baik. Panjang gelombang *band* merah digunakan dikarenakan kemampuan band tersebut mampu menginterpretasi material padatan. Berikut persamaan 1 yang merupakan algoritma Trisakti:

$$TSS \text{ (mg/L)} = 4.9453 \cdot \exp^{(0.0028 \cdot \text{band red})} \quad (1)$$

keterangan:

band red = reflektansi band 4

2.3 Kecerahan

Menurut Effendi (2003), kecerahan merupakan ukuran transparansi perairan yang ditentukan secara visual dengan menggunakan *secchi disk*. Kecerahan air tergantung pada warna dan kekeruhan. Sekitar abad 19, *Profesor Secchi* mengembangkan *Secchi disk* yang berusaha menghitung tingkat kekeruhan air secara kuantitatif. Tingkat kekeruhan air tersebut dinyatakan dengan suatu nilai yang dikenal dengan kecerahan *secchi disk*. Nilai kecerahan dinyatakan dalam satuan meter. Nilai ini sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca, waktu pengukuran, kekeruhan dan padatan tersuspensi serta ketelitian orang yang melakukan pengukuran. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang ada di dalam air.

Menurut Mujito (1997), tingkat kecerahan perairan dapat menunjukkan sampai sejauh mana penetrasi cahaya matahari menembus kolom perairan. Untuk mendapatkan nilai kecerahan pada penelitian ini menggunakan persamaan tingkat kecerahan dari Trisakti (2014), yakni:

$$\text{Kecerahan (cm)} = 787.38 Z^{-0.824} \quad (2)$$

dimana, *Z* merupakan hasil dari pengolahan algoritma *Total Suspended Solid*.

2.4 Klorofil-a

Klorofil-a merupakan komponen penting yang didukung fitoplankton dan tumbuhan air yang mana keduanya merupakan sumber makanan alami bagi ikan. Klorofil-a adalah suatu pigmen aktif dalam sel tumbuhan yang mempunyai peran penting terhadap berlangsungnya proses fotosintesis di perairan (Prezelin, 1981 dalam Krismono, 2010). Klorofil-a dapat dijadikan sebagai salah satu indikator kesuburan perairan karena berperan sebagai faktor penentu kelimpahan fitoplankton di perairan dalam proses fotosintesis (Nuzapril dkk., 2017).

2.5 Algoritma Klorofil-a

Algoritma Wibowo 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.

$$Chl-a \text{ (mg/m}^3\text{)} = 2.41 \times \frac{TM3}{TM2} + 0.187 \quad (3)$$

keterangan:

TM 2 = kanal 2 Landsat TM

TM 3 = kanal 3 Landsat TM

2.6 Status Trofik Perairan

Eutrofikasi merupakan pengayaan (*enrichment*) air dengan nutrient/unsur hara berupa bahan anorganik yang dibutuhkan oleh tumbuhan dan mengakibatkan terjadinya peningkatan produktivitas primer perairan. Nutrien yang dimaksud adalah nitrogen dan fosfor. Hanya fosfor dan nitrogen yang dapat menyebabkan perairan mengalami eutrofikasi. Sebagian besar danau, fosfor menjadi faktor pembatas karena keberadaannya yang relatif sedikit dibandingkan dengan banyaknya organisme akuatik yang memerlukannya. Peningkatan kadar fosfor akan mengakibatkan peningkatan produktivitas perairan. Sedangkan pada perairan laut yang merupakan faktor pembatas pertumbuhan adalah nitrogen. Pada perairan yang sedikit nitrogen tetapi masih tersedia fosfor, beberapa jenis algae masih dapat tumbuh karena mampu mengikat nitrogen bebas (Effendi, 2003).

Menurut PerMNLH Nomor 28 Tahun 2009, eutrofikasi diklasifikasikan menjadi empat kategori status trofik yaitu :

- Oligotrof*, adalah status trofik air danau yang mengandung unsur hara dalam kadar rendah, status ini menunjukkan kualitas air masih bersifat alamiah belum tercemar dari sumber unsur hara N dan P.
- Mesotrof*, adalah status trofik air danau yang mengandung unsur hara dalam kadar sedang, status ini menunjukkan adanya peningkatan kadar N dan P, namun masih dalam batas toleransi karena belum menunjukkan adanya indikasi pencemaran air.
- Eutrofik*, adalah status trofik air danau yang mengandung unsur hara dalam kadar tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar oleh peningkatan kadar N dan P.
- Hipereutrofik*, adalah status trofik air danau yang mengandung unsur hara dengan kadar

sangat tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar berat oleh peningkatan kadar N dan P.

Tabel 2. Katagori status trofik danau

Kadar Rata-Rata Total-N ($\mu\text{g/l}$)	Kadar Rata-Rata Total-P ($\mu\text{g/l}$)	Kadar Rata-Rata Klorofil-a ($\mu\text{g/l}$)	Kecerahan Rata-Rata (m)
≤ 650	< 10	< 2	≥ 10
≤ 750	< 30	< 5	≥ 4
≤ 1900	< 100	< 15	≥ 2.5
> 1900	≥ 100	≥ 200	< 2.5

Sumber: KLH, 2009

2.7 Landsat-8

Landsat-8 adalah sebuah satelit observasi bumi Amerika yang diluncurkan pada 11 Februari 2013. Ini merupakan satelit kedelapan dalam program Landsat, ketujuh untuk berhasil mencapai orbit. Awalnya disebut *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) yang merupakan project gabungan antara NASA dan Geological Survey Amerika Serikat (USGS) beserta *NASA Goddard Space Flight Center*. Sebagian besar kanal memiliki spesifikasi mirip dengan Landsat-7. Untuk Sensor OLI yang dibuat oleh Ball Aerospace, terdapat 2 band yang baru terdapat pada satelit Program Landsat yaitu *Deep Blue Coastal/Aerosol Band* (0.433–0.453) μm serta *Shortwave InfraRed Cirrus Band* (1.360–1.390) μm . Sedangkan 7 band lainnya adalah band yang sebelumnya terdapat pada sensor satelit Landsat generasi sebelumnya. Sedangkan Sensor TIRS yang dibuat oleh NASA, ada dua band pada *region thermal* dengan resolusi spasial 100 meter (USGS, 2013).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan metode deskripsi kuantitatif. Tujuan dari metode deskriptif kuantitatif yakni untuk menggambarkan secara sistematis dan akurat serta karakteristik mengenai bidang tertentu. Dimana data pada penelitian ini diperoleh dengan observasi tak langsung, yakni teknik mengumpulkan data-data dengan melalui perantara sebuah alat.

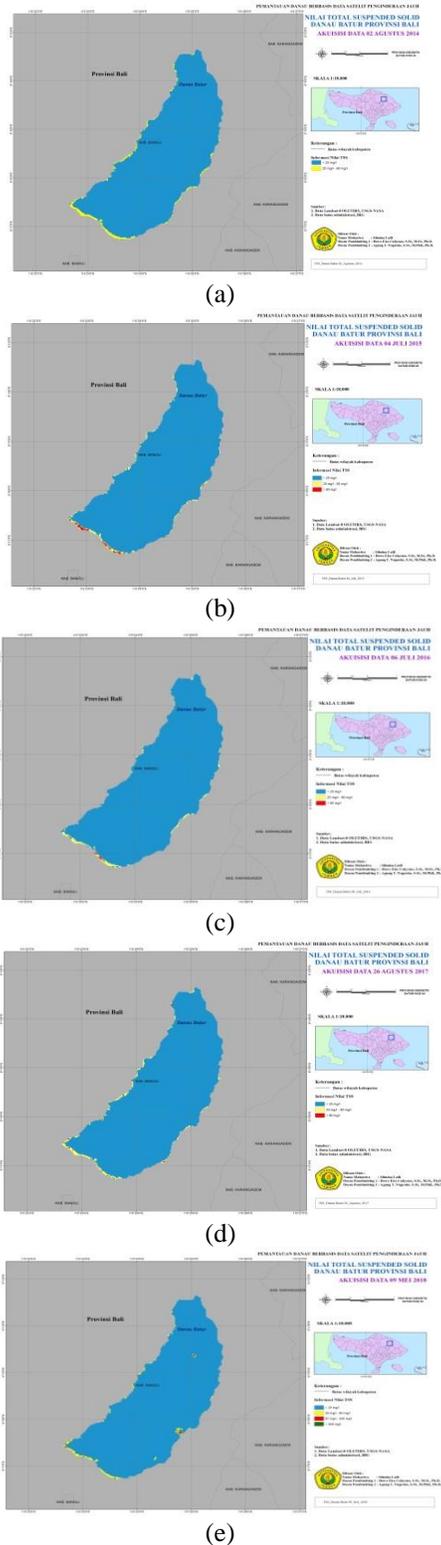
Penelitian dimulai dari studi literatur dan pengumpulan data. Data citra yang digunakan adalah citra Landsat-8 OLI/TIRS multitemporal

untuk wilayah perairan Danau Batur Kabupaten Bangli, Provinsi Bali dengan path 116 dan row 066. Data yang diambil yaitu akuisisi data citra Landsat-8 OLI/TIRS tanggal 02 Agustus 2014, 04 Juli 2015, 06 Juli 2016, 26 Agustus 2017 dan 09 Mei 2018. Pemilihan data citra yang digunakan di tiap tahunnya yakni pada musim kemarau. Sebelum dilakukan pengolahan dilakukan pre-processing yang mencakup penggabungan band, koreksi citra dan cropping. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan koreksi citra berupa koreksi radiometrik dan atmosferik. Pemotongan citra satelit dilakukan pada area Danau Batur yang selanjutnya digunakan untuk proses pengolahan data. Tahap pengolahan terdiri dari tiga yakni perhitungan nilai Total Suspended Solid (TSS), tingkat kecerahan air dan klorofil-a. Perhitungan konsentrasi TSS dilakukan dengan menerapkan proses penajaman citra berbasis formula. Penajaman citra berbasis formula ini menggunakan persamaan algoritma Trisaksti yang ditunjukkan pada persamaan 1. Perhitungan nilai kecerahan air menggunakan persamaan 2. Proses deteksi nilai kecerahan dapat dilakukan dengan menggunakan nilai konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) yang dimasukkan ke dalam persamaan 2. Perhitungan nilai klorofil-a menggunakan persamaan algoritma Wibowo yang ditunjukkan pada persamaan 3.

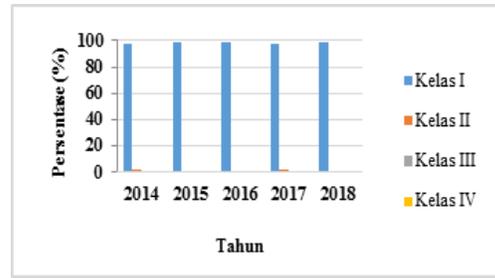
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sebaran Konsentrasi Total Suspended Solid

Hasil pengolahan TSS secara multitemporal di perairan Danau Batur ini didasarkan pada data citra Landsat-8 OLI/TIRS yang ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai TSS diklasifikasikan sesuai Tabel 1 yakni kesesuaian perairan untuk kepentingan perikanan berdasarkan nilai konsentrasi TSS. Kelas I (< 25 mg/L) tidak ada pengaruh bagi perikanan. Kelas II (25-80) mg/L sedikit berpengaruh terhadap kepentingan perikanan. Kelas III (81–400) mg/L kurang baik bagi kepentingan perikanan. Kelas IV (> 400 mg/L) tidak baik bagi kepentingan perikanan. Berdasarkan hasil pengolahan citra didapatkan nilai TSS di Danau Batur tahun 2014 memiliki nilai rata-rata 7,5 mg/L, tahun 2015 memiliki nilai rata-rata 9,2 mg/L, tahun 2016 memiliki nilai rata-rata 8,8 mg/L, tahun 2017 memiliki nilai rata-rata 9,4 mg/L dan tahun 2018 memiliki rata-rata 9,9 mg/L.



Gambar 2 Peta sebaran konsentrasi TSS Danau Batur tahun 2014-2018
 Grafik perkembangan nilai TSS Danau Batur ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 3



Gambar 3. Grafik konsentrasi TSS Danau Batur tahun 2014-2018

Tabel 3. Luas konsentrasi TSS Danau Batur tahun 2014-2018

Kelas	Tahun				
	2014	2015	2016	2017	2018
	Luas (ha)				
Kelas I	1667,24	1672,79	1680,15	1672,14	1680,84
Kelas II	36,39	23,83	21,86	29,69	20,73
Kelas III	0	7,01	1,62	1,79	1,71
Kelas IV	0	0	0	0	0,36
Rata-rata (mg/L)	7,5	9,2	8,8	9,4	9,9

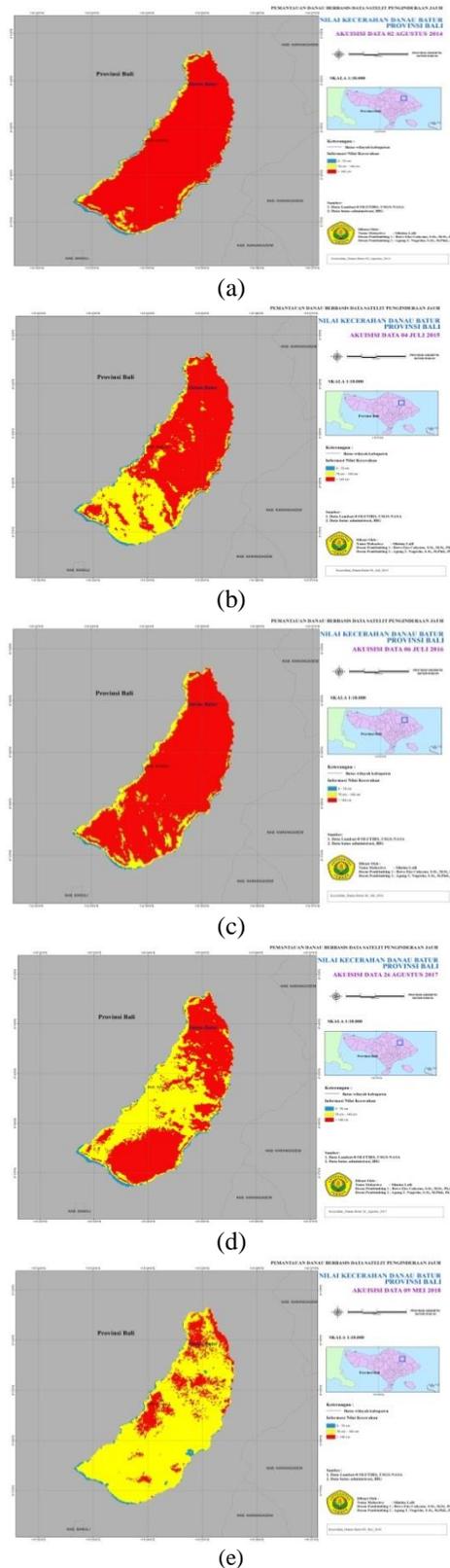
Berdasarkan Tabel 3 diatas nilai TSS di Danau Batur pada tahun 2014 berdasarkan klasifikasinya yakni kelas I dengan konsentrasi <25 mg/L memiliki luas sebesar 1667,24 Ha dan kelas II dengan konsentrasi antara 25 mg/L-80 mg/L memiliki luas sebaran 36,39 Ha. Tidak ditemukan katagori kelas III dan kelas IV pada tahun 2014. Luasan terbesar terdapat pada kelas <25 mg/L dengan persentase sebesar 97,86%. Pada tahun 2015 nilai konsentrasi TSS mengalami peningkatan dari tahun 2014 seperti yang terlihat pada Gambar 3. Kelas I memiliki luas sebesar 1672,79 Ha. Kelas II memiliki luas sebesar 23,83 Ha. Pada tahun 2015 mulai muncul untuk katagori Kelas III yakni dengan nilai konsentrasi >80 mg/L memiliki luas sebesar 7,01 Ha. Luasan terbesar terdapat pada kelas <25 mg/L dengan persentase sebesar 98,19%. Hasil sebaran nilai TSS tahun 2016 mengalami penurunan dari tahun 2015 seperti pada Gambar 3. Kelas I memiliki luas sebesar 1680,15 Ha. Kelas II memiliki luas sebaran 21,86 Ha. Kelas III dengan nilai konsentrasi terbesar memiliki luas sebesar 1,62 Ha. Luasan terbesar terdapat pada kelas <25 mg/L dengan persentase sebesar 98,62%. Hasil sebaran nilai TSS tahun 2017 pada kelas I dengan memiliki luas sebesar 1672,14 Ha. Kelas II memiliki luas sebaran 29,69 Ha. Kelas III dengan nilai konsentrasi terbesar memiliki luas sebesar 1,79 Ha. Tidak ditemukan katagori kelas IV pada tahun ini. Luasan terbesar terdapat pada kelas <25

mg/L dengan persentase sebesar 98,15%. Pada tahun 2018 nilai dari konsentrasi TSS mengalami peningkatan dari tahun 2017, terlihat dari hasil tabel bahwa kelas konsentrasi TSS bertambah dari tahun sebelumnya. Kelas I memiliki luas sebesar 1680,84 Ha. Kelas II memiliki luas sebaran 20,73 Ha. Kelas III memiliki luas sebesar 1,71 Ha. Pada tahun ini terjadi penambahan untuk katagori kelas IV dengan nilai konsentrasi terbesar yakni >400 mg/L memiliki luas sebesar 0,36 Ha. Luasan terbesar terdapat pada kelas <25 mg/L dengan persentase sebesar 98,66%.

Dari data di atas kita dapat melihat bahwa sebaran konsentrasi TSS tahun 2014 sampai 2018 mengalami fluktuasi seperti yang disajikan pada Gambar 3. Pada konsentrasi <25 mg/L luas areanya semakin meningkat dari tahun 2014 ke 2016, namun pada tahun 2016 ke 2017 luas areanya mengalami penurunan dan kemudian naik lagi pada tahun 2017 ke 2018. Luas area dengan konsentrasi 25 mg/L-80 mg/L mengalami penurunan dari tahun 2014 ke 2016, namun pada tahun 2016 ke 2017 mengalami kenaikan dan kemudian turun lagi pada tahun 2017 ke 2018. Konsentrasi 81 mg/L-400 mg/L tersebar pada tahun 2015 sampai 2018, yakni luas konsentrasi dari tahun 2015 ke 2016 mengalami penurunan, kemudian pada tahun 2016 ke 2017 mengalami kenaikan dan pada tahun 2017 ke 2018 mengalami penurunan. Konsentrasi 400 mg/L hanya tersebar pada tahun 2018. Secara keseluruhan diketahui bahwa pada kurun waktu 5 tahun (2014-2018) dengan kondisi musim yang relatif sama (kemarau), konsentrasi TSS mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat pada nilai rata-rata konsentrasi TSS dari tahun ke tahun yang semakin meningkat dan juga ditunjukkan oleh nilai konsentrasi TSS pada tahun 2014 sampai tahun 2018 terjadi penambahan kelas konsentrasi TSS. Peningkatan konsentrasi TSS ini menunjukkan penurunan kualitas air di Danau Batur.

4.2 Sebaran Tingkat Kecerahan

Pengolahan tingkat kecerahan air secara multitemporal di perairan Danau Batur ini dianalisis dengan citra Landsat-8 OLI/TIRS. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai rentang tingkat kecerahan di perairan Danau Batur yaitu (0,03-1,8) m. Walaupun kelas dari tingkat kecerahan sudah tergolong *hipereutrofik*, pembagian kelas ini dilakukan untuk mengkelaskan tingkat dari kerusakan Danau Batur. Peta sebaran tingkat kecerahan air tahun 2014 sampai 2018 disajikan pada Gambar 4.

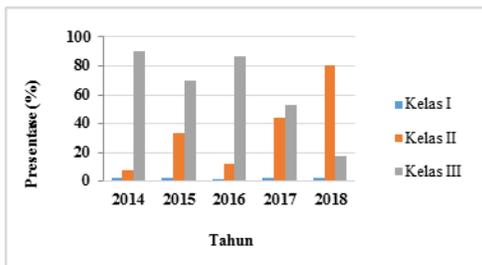


Gambar 4. Peta sebaran tingkat kecerahan Danau Batur tahun 2014-2018

Grafik perkembangan tingkat kecerahan Danau Batur ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 4.

Tabel 4. Luas tingkat kecerahan Danau Batur tahun 2014-2018

Kelas	Tahun				
	2014	2015	2016	2017	2018
	Luas (ha)				
Kelas I	43,14	46,75	28,29	42,99	38,39
Kelas II	130,75	568,14	204,11	753,29	1365,71
Kelas III	1529,75	1088,76	1471,23	907,36	299,54
Rata-rata (cm)	153	138	145	134	127



Gambar 5 Grafik tingkat kecerahan air Danau Batur tahun 2014-2018

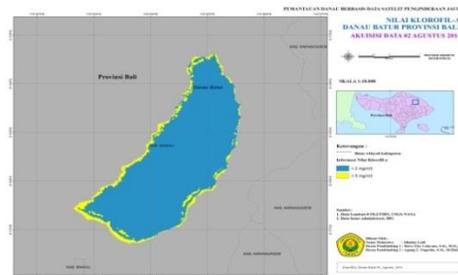
Berdasarkan hasil pengolahan citra didapatkan nilai kecerahan air di Danau Batur tahun 2014 sampai 2018 seperti pada Tabel 4. Tahun 2014, luas tingkat kecerahan air kelas I didapatkan luas sebesar 43,14 Ha. Kelas II memiliki luas 130,75 Ha. Kelas III memiliki nilai yakni 1529,75 Ha. Tingkat kecerahan air pada tahun 2015 yang memiliki kelas I didapatkan luas sebesar 46,75 Ha. Kelas II seluas 568,14 Ha, diikuti dengan kelas III yakni sebesar 1088,76 Ha. Tahun 2016, kelas I luas tingkat kecerahan air didapatkan luas sebesar 28,29 Ha. Kelas II seluas 204,11 Ha, diikuti dengan kelas III memiliki nilai luas yakni 1471,23 Ha. Tahun 2017, luas tingkat kecerahan air yang termasuk kelas I didapatkan luas sebesar 42,99 Ha. Kelas II memiliki luas sebesar 753,29 Ha diikuti dengan kelas III memiliki nilai yakni 907,36 Ha. Tahun 2018, kelas I luas tingkat kecerahan air didapatkan luas sebesar 38,39 Ha. Kelas II seluas 1365,71 Ha, diikuti dengan kelas III memiliki nilai luas yakni 299,54 Ha.

Pada umumnya tingkat kecerahan perairan pada tahun 2014 mempunyai nilai pada rentang 22

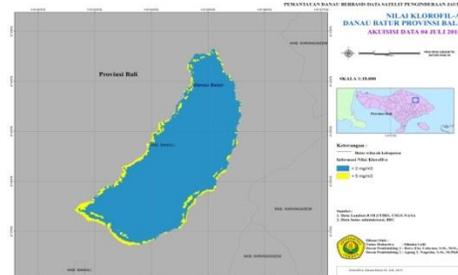
cm-180 cm, tetapi bersama dengan bertambahnya waktu maka tingkat kecerahan semakin berkurang. Kecerahan perairan pada tahun 2015 berada pada rentang 9 cm-158 cm. Kecerahan perairan pada tahun 2016 berada pada rentang 4 cm-180 cm. Kecerahan perairan pada tahun 2017 berada pada rentang 7 cm-158 cm. Kecerahan perairan pada tahun 2018 berada pada rentang 3 cm-180 cm. Namun secara keseluruhan tingkat kecerahan di Danau Batur sudah tergolong *hipereutrofik* karena berada pada rentang nilai <2,5 m.

4.3 Sebaran Kandungan Klorofil-a

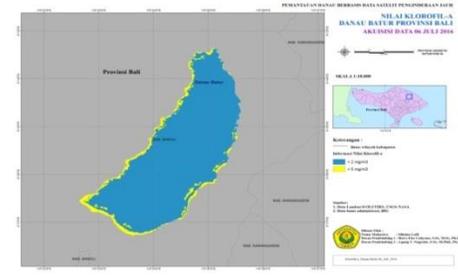
Hasil pengolahan klorofil-a secara multitemporal di perairan Danau Batur dianalisis dengan citra Landsat-8 OLI/TIRS. Nilai kandungan klorofil-a diklasifikasikan berdasarkan katagori status trofik perairan sesuai dengan Tabel 2. Ditemukan 2 katagori kelas yakni Kelas I dengan konsentrasi <2 mg/m³ merupakan kategori *oligotrof*. Kelas II dengan konsentrasi <5 mg/m³ merupakan kategori *mesotrof*. Peta sebaran kandungan klorofil-a tahun 2014 sampai 2018 disajikan pada Gambar 6.



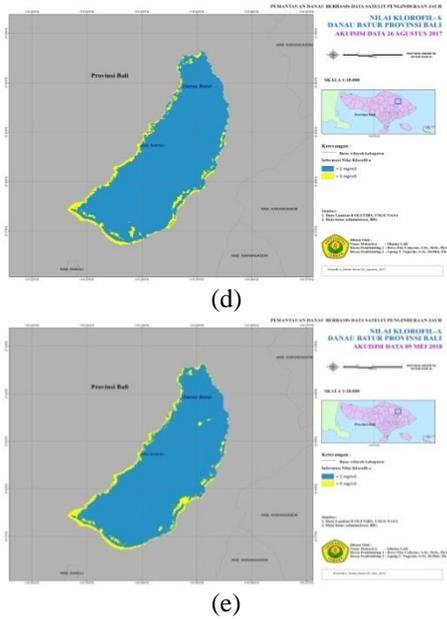
(a)



(b)



(c)

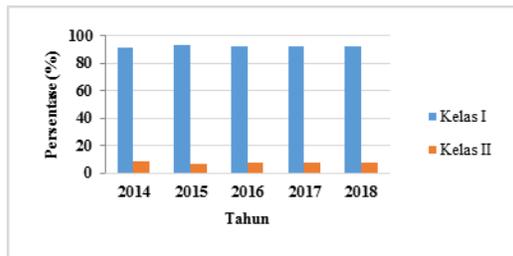


Gambar 6. Peta sebaran kandungan klorofil-a Batur tahun 2014-2018

Grafik perkembangan kandungan klorofil-a Danau Batur ditunjukkan pada Gambar 7 dan Tabel 5.

Tabel 5. Luas kandungan klorofil-a Danau Batur tahun 2014-2018

Kelas	Tahun				
	2014	2015	2016	2017	2018
	Luas (ha)				
Kelas I	1557,29	1589,51	1579,49	1578,28	1570,12
Kelas II	146,34	114,13	124,15	125,36	133,52
Rata-rata (mg/m ³)	1,9	2,1	1,4	1,9	1,4



Gambar 7. Grafik kandungan klorofil-a Danau Batur tahun 2014-2018

Berdasarkan hasil pengolahan citra didapatkan nilai klorofil-a di Danau Batur tahun 2014 berada pada rentang (1,62–3,89) mg/m³, tahun 2015 berada pada rentang (1,65–3,53) mg/m³, tahun 2016 berada pada rentang (1,12–3,57) mg/m³, tahun 2017 berada pada rentang (1,59–3,69) mg/m³ dan tahun 2018 berada pada rentang (1,20–3,43) mg/m³. Dari hasil pengklasifikasian tersebut hanya terdapat 2 kelas yakni status trofik *oligotrof* dan *mesotrof* pada perairan Danau Batur. Dimana pada tahun 2014 untuk status trofik *oligotrof* seluas 1557,29 Ha dengan persentase 91,41%, tahun 2015 seluas 1589,51 Ha dengan persentase 93,3%, tahun 2016 seluas 1579,49 Ha dengan persentase 92,71%, tahun 2017 seluas 1578,28 Ha dengan persentase 92,64% dan tahun 2018 seluas 1570,12 Ha dengan persentase 92,16%. Sedangkan untuk katagori status trofik *mesotrof* pada tahun 2014 seluas 146,34 Ha dengan persentase 8,59%, tahun 2015 seluas 114,13 Ha dengan persentase 6,7%, tahun 2016 seluas 124,15 Ha dengan persentase 7,29%, tahun 2017 seluas 125,36 Ha dengan persentase 7,36% dan tahun 2018 seluas 133,52 Ha dengan persentase 7,84%.

Berdasarkan rentang nilai kandungan klorofil-a setiap status trofik, dapat dilihat bahwa kandungan klorofil-a tertinggi dari tahun 2014 sampai 2018 dengan kondisi musim yang relatif sama (kemarau) berada pada rentang yang sama yakni <5 mg/m³, sehingga dapat dikatakan bahwa kadar klorofil-a di Danau Batur relatif stabil.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tidak ada perubahan nilai TSS yang terlalu besar dari tahun 2014 sampai 2018. Persentase terbesar pada tahun 2014, 2015, 2016, 2017 dan 2018 berturut-turut adalah 97,86%, 98,19%, 98,62%, 98,15% dan 98,66% yakni berada pada rentang <25 mg/L. Berdasarkan hasil analisis klasifikasi pencemaran air, kualitas perairan Danau Batur berada dalam kelas tidak berpengaruh dalam dunia perikanan.
2. Kecerahan dengan rentang yang rendah (0-70) cm pada tahun 2014 dengan persentase 2,53%, tahun 2015 sebesar 2,74%, tahun 2016 sebesar 1,66%, tahun 2017 sebesar 2,52% dan tahun 2018 sebesar 2,25%.
3. Tidak ada perubahan nilai klorofil-a yang terlalu besar dari tahun 2014 sampai 2018. Persentase terbesar pada tahun 2014, 2015, 2016, 2017 dan 2018 berturut-turut adalah 91,41%, 93,3%, 92,71%, 92,64% dan

92,16% yakni berada pada rentang <2 mg/m³. Kualitas perairan Danau Batur berdasarkan kesuburan air dari tahun 2014 sampai 2018 berada dalam status trofik *oligotrof*.

DAFTAR PUSTAKA

- Baktiar, A. H., Wijaya, A. P., dan Sukmono, A. 2016. Analisis Kesuburan dan Pencemaran Air Berdasarkan Kandungan Klorofil-a dan Konsentrasi *Total Suspended Solid* Secara Multitemporal di Muara Banjir Kanal Timur. *Jurnal Geodesi Undip*, Volume 5, Nomor 4, Tahun 2016 (ISSN : 2337-845X).
- Boyer, Kelble, Ortner, Rudnick. 2009. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological Indicators*. 9s (2009) s56–s67.
- Damayanti, H., O. dan Hernawan, U. 2014. Pola Penyebaran Sedimen Tersuspensi Berdasarkan Analisis Debit Maksimum dan Minimum di Muara Sungai Porong, Kabupaten Pasuruan. *Widyariset*. 17(2): 291-302.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: KANISIUS.
- Kamali. 2004. *Komunitas Fitoplankton*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- KLH. 2009. *Kesepakatan Bali Pengelolaan danau berkelanjutan*. Kementerian Lingkungan Hidup.
- KLH. 2014. *Gerakan Penyelamatan Danau (GERMADAN) Batur*. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Krismono. 2010. Hubungan Antara Kualitas Air dengan Klorofil-a dan Pengaruhnya Terhadap Populasi Ikan di Perairan Danau Limboto. *LIMNOTEK* (2010) 17 (2) : 171180.
- Mujito, M., H. Riyanto, A.G Tjiptono, Suliantara, R.K. Risdianto, dan Sudioanto. 1997. *Evaluasi Penginderaan Jauh untuk Studi Dasar Lingkungan Wilayah Kerja UNOCAL Indonesia Company Kalimantan Timur*. Jakarta: Bidang Litbangtek Eksplorasi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi, LEMIGAS.
- Nuzapril, M., Susilo, S. B., dan Panjaitan, J. P. 2017. Hubungan Antara Konsentrasi Klorofil-a dengan Tingkat Produktivitas Primer Menggunakan Citra Satelit Landsat-8. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan* Vol. 8 No. 1 Mei 2017: 105-114.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup. 2009. Nomor 28 Tahun 2009 tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai dan/atau Waduk.
- Suryono, T., S. Nomosatriyo & E. Mulyana. 2008. Tingkat Kesuburan Danau–Danau di Sumatera Barat dan Bali. *LIMNOTEK* Volume XV No. 2: 99 – 111p.
- Trisakti, Tjahjaningsih, Suwargana, Carolita, dan Mukhoriyah. 2014. Pemanfaatan Penginderaan Jauh Satelit untuk Pemantauan Daerah tangkapan Air dan Danau. Bogor : Crespent Press.
- USGS. 2013. *Landsat-8 Handbook Operation*. Reston: USA.
- Wibowo, A., B. Sumartono, dan W. H. Setyantini. 2004. *The application of satellite data improvement site selection and monitoring shrimp pond culture case study on Cirebon, Lampung, Jambi, and Jepara Coasts*. In *Remote Sensing and Geographic Information System*. BPPT. Jakarta. h16-27.