



## Efek Fotodegradasi terhadap *Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM)* dan Nutrien pada Air Danau

I Gusti Ngurah Agung Suryaputra<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Program Studi Kimia Terapan, Jurusan Kimia, Universitas Pendidikan Ganesha

\*Corresponding author: [surya@fulbrightmail.org](mailto:surya@fulbrightmail.org)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fotodegradasi terhadap perubahan CDOM dan nutrien di Danau Beratan, khususnya di daerah yang didominasi oleh kegiatan pariwisata. Subjek pada penelitian ini air Danau Beratan, sedangkan objek penelitian ini adalah absorbansi CDOM, konsentrasi nutrien, DO, pH serta suhu. Pengukuran absorbansi menggunakan instrumen Spektrofotometer UV-Vis merk Shimadzu tipe 1800 akan diperoleh parameter spectral slope (S), berat molekul rerata dan konsentrasi nutrien.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh fotodegradasi terhadap CDOM. Bila dilihat dari nilai S atau E2:E3 saja, proses fotodegradasi seakan-akan lebih sedikit memecah CDOM menjadi molekul yang lebih kecil, dari pada proses biodegradasi. Namun, bila dilihat dari nilai absorbansi, maka pada proses fotodegradasi memiliki nilai absorbansi yang lebih kecil dibandingkan dengan proses biodegradasi. Hal ini berarti bahwa degradasi lebih banyak terjadi dengan bantuan sinar matahari. Oleh karena itu, interpretasi mengenai fotodegradasi terhadap CDOM tidak cukup dilihat dari nilai S atau E2:E3 saja, melainkan dilihat pula dari nilai absorbansinya, agar tidak terjadi kesalahan penafsiran. Selain itu, proses fotodegradasi CDOM mengakibatkan zat-zat organik terlarut terdekomposisi menjadi zat-zat anorganik. Amoniak yang terbentuk akan mengalami proses nitrifikasi, teroksidasi menjadi nitrit dan kemudian nitrat.

**Kata Kunci:** fotodegradasi, chromophoric dissolved organic matter, spectral slope, nutrien, danau.

### Abstract

*This study's objective was to determine the effect of photodegradation on CDOM and nutrients in Lake Beratan, specifically in a tourism-dominated area. Subjects in this study are the water of Lake Beratan, while the object of this study is the absorbance CDOM, nutrient concentration, DO, pH, and temperature. We measured absorbance and nutrient concentrations using a Shimadzu UV-1800 UV-Vis Spectrophotometer. The spectral slope (S) and E2:E3 ratio were calculated from its absorbance.*

*The result shows the possibility of misinterpretation due to the use of S or E2:E3 alone to express photodegradation. Either one demonstrates that photodegradation seems to decompose CDOM less than biodegradation. However, if we notice its absorbance value, it is clear that the opposite phenomenon, which is reasonable, takes place. We, therefore, conclude that CDOM photodegradation cannot be concluded from S and E2:E3 alone, but its absorbance is also necessary to lead to the right interpretation. Besides CDOM absorbance, photodegradation also affects nutrients in the water. Photodegradation decomposes organic materials into inorganics, whereas organic nitrogen is turned into ammonia and is then oxidised into nitrite and nitrate via nitrification. Overall, photodegradation decreases the concentration of nutrients dissolved in water.*

**Keywords:** photodegradation, chromophoric dissolved organic matter, spectral slope, nutrients, lake.

#### History:

Received : May 20, 2021  
Revised : June 30, 2021  
Accepted : July 10, 2021  
Published : October 25, 2021

**Publisher:** Undiksha Press

**Licensed:** This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



## 1. Pendahuluan

Bali memiliki obyek wisata yang sangat beragam, baik wisata alam, wisata budaya, dan wisata bahari. Pariwisata di Pulau Bali, menunjukkan perkembangan yang signifikan, terbukti dengan banyaknya wisatawan lokal dan mancanegara yang berkunjung, baik untuk menghabiskan waktu libur maupun untuk keperluan bisnis. Badan Pusat Statistik Provinsi Bali, menunjukkan pada bulan Januari hingga bulan Desember 2014, jumlah kunjungan wisatawan mancanegara ke Bali mencapai 3.766.638 kunjungan, sedangkan pada tahun 2013 kunjungan wisatawan mencapai 3.278.598 kunjungan. Hal ini menunjukkan pariwisata di Bali tahun 2014 mengalami peningkatan sebesar 11,48% dibandingkan pada tahun 2013 (BPS Provinsi Bali, 2015).

Danau Beratan sebagai salah satu tempat pariwisata di Bali terletak di kawasan Bedugul, Desa Candikuning, Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan, Bali. Danau Beratan memiliki luas genangan 3,85 km<sup>2</sup>, panjang danau sekitar 7,5 km, lebar 2,0 km, kedalaman maksimum sekitar 20 m serta berada di ketinggian 1.231 m di atas permukaan laut. Pada bagian pinggir Danau Beratan dapat kita temui berbagai aktivitas masyarakat, terutama di sektor pariwisata. Banyak turis dari mancanegara dan lokal menyempatkan diri untuk mengunjungi danau ini dan menikmati berbagai ragam paket pariwisata, seperti naik *speedboat*, perahu, dan lain-lainnya. Alhasil dari sektor pariwisata tersebut, sudah pasti keberadaan Danau Beratan sangat membantu perekonomian masyarakat sekitarnya (Kusumaningtyas, 2013).

Perkembangan pesat kawasan ini, selain mempunyai dampak positif terhadap peningkatan ekonomi masyarakatnya, juga menimbulkan dampak negatif terutama terhadap konservasi alam di daerah tersebut. Peningkatan jumlah hotel, restoran, dan perumahan di sekitar Danau Beratan akan berpengaruh terhadap ekosistem danau, baik langsung maupun tidak langsung. Kegiatan pariwisata di Danau Beratan yang berpotensi mencemari air danau, selain dipicu oleh pengelolaan limbah yang tidak baik, penggunaan *speedboat* di danau tentunya akan menurunkan kualitas air danau, apalagi jika terjadi kebocoran pada mesin *speedboat* yang digunakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Pusat Regional Lingkungan Hidup Bali Nusa Tenggara menyebutkan bahwa danau yang terletak di Kabupaten Tabanan ini, terindikasi tercemar limbah fosfat (11,553 mg/L) dan zat organik (11,380 mg/L). Berdasarkan standar baku mutu air dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001, kadar fosfat yang diperbolehkan adalah 2 mg/L, sedangkan untuk zat organik adalah 10 mg/L. Tingginya kadar fosfat dimungkinkan akibat pemakaian zat kimia dari pupuk yang digunakan petani di sekitar danau (Rahadiani *et al.*, 2014).

Fosfat merupakan salah satu jenis nutrisi. Nutrien yang umum menjadi fokus perhatian di lingkungan perairan adalah unsur fosfor dan nitrogen. Nitrogen dapat berupa senyawa *ammonia*, nitrit dan nitrat, sementara fosfor berupa senyawa ortofosfat. Keberadaan fosfat yang berlebih disertai keberadaan nitrat dalam perairan memungkinkan terjadinya eutrofikasi. Kondisi eutrofik tersebut memungkinkan alga untuk berkembang biak secara pesat dan memanfaatkan oksigen dalam jumlah yang besar, sehingga berdampak pada penurunan oksigen terlarut (DO) (Gunamantha & Suryaputra, 2012).

Rendahnya nilai DO pada air Danau Beratan, selain dipicu oleh tingginya nutrisi terlarut dalam air, juga bisa diakibatkan oleh tingginya konsentrasi *dissolved organic matter* (DOM). Keberadaan nutrisi terlarut yang tinggi berdampak pada peningkatan organisme di perairan dapat mempengaruhi DOM karena salah satu sumber DOM adalah pembusukan organisme.

Sumber-sumber masukan DOM bisa berasal dari alam secara natural, seperti rembesan dari lapisan humus di sekitar danau, air bawah tanah, dan degradasi material organik di sekitar danau. Selain itu, sumber masukan DOM juga bisa berasal dari aktivitas manusia di sekitar danau, seperti kegiatan pertanian, perkebunan, perhotelan, perumahan, dan restoran. DOM memiliki peranan yang sangat vital dalam proses biogeokimia terutama di dalam badan air (Mulholland, 2003; Muniz, 1990).

DOM terdiri dari fraksi zat organik yang sangat bervariasi. DOM bisa dianalisis melalui *chromophoric dissolved organic matter* (CDOM). CDOM adalah fraksi DOM yang berwarna, sehingga secara optik akan bisa mengabsorpsi cahaya, baik *ultraviolet* maupun cahaya tampak. Selain kemampuannya untuk menyerap cahaya *ultraviolet* yang berbahaya bagi organisme di dalam air, CDOM mempunyai peranan sangat besar dalam proses yang terjadi di air. Produksi spesies oksigen yang reaktif (Mopper & Kieber, 2000); dan ketersediaan logam dalam proses biologi di air (Koukal *et al.*, 2003; Guéguen *et al.*, 2005) merupakan contoh dari peranan CDOM.

Analisis DOM dengan menggunakan spektra absorpsi dari CDOM sudah dilakukan melalui beberapa penelitian. Rasio antara absorpsi pada 254-365 nm digunakan untuk mengetahui perubahan ukuran molekul DOM (Peuravouri & Kalevi, 1997). Rasio antara absorpsi

pada 465–665 nm dilaporkan berbanding terbalik dengan kearomatikan DOM (Chin *et al.*, 1994); akan tetapi diketahui mempunyai korelasi yang lebih baik dengan humifikasi (Chen *et al.*, 1977). Selain menggunakan rasio absorpsi, analisis DOM juga telah dilakukan dengan menggunakan *spectral slope* (S). S dipakai untuk memonitor proses degradasi CDOM (Vähätalo & Wetzel, 2004). Helms *et al.* (2008) melaporkan bahwa *slope* pada 275–295 nm dan *slope* rasio (antara 275–295 nm dan 350–400 nm) berkaitan dengan berat molekul DOM dan perubahan berat molekul yang disebabkan oleh reaksi fotokimia.

Satyawan (2014) melaporkan bahwa sumber-sumber pemasukan DOM pada danau Beratan paling banyak berasal dari kegiatan pariwisata. Sumber pemasukan DOM pada daerah pariwisata berasal dari pengelolaan limbah rumah makan dan warung yang tidak baik. Selain itu penggunaan *speedboat* juga dapat berkontribusi terhadap masukan DOM.

Pengamatan pada danau dan laut menunjukkan bahwa pada air yang mempunyai stratifikasi, pemaparan oleh sinar *ultraviolet* membantu penurunan konsentrasi CDOM. Fotodegradasi adalah proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Fotodegradasi juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan sinar matahari. Metode ini sangat efisien karena memanfaatkan sinar matahari yang keberadaannya melimpah. Menurut Corbett (2007), molekul DOM dengan berat molekul rerata yang tinggi setelah mengalami fotodegradasi, menyebabkan berat molekulnya menjadi rendah. Penelitian ini, akan menganalisis pengaruh fotodegradasi terhadap konsentrasi nutrien dan absorbansi CDOM yang berfokus pada daerah pariwisata di Danau Beratan.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian deskriptif yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh fotodegradasi terhadap konsentrasi nutrien dan absorbansi CDOM yang berfokus pada daerah pariwisata di Danau Beratan. Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan meliputi persiapan alat dan bahan dan pembersihan botol sampel. Tahap pelaksanaan penelitian meliputi pengambilan sampel pengukuran absorbansi CDOM serta menentukan nilai nutrien pada danau Beratan.

### 2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Oktober 2015 hingga Mei 2016. Sampel diambil di Danau Beratan yang mewakili daerah pariwisata. Penelitian ini meliputi beberapa parameter yakni nutrien, DO, suhu, pH serta absorbansi CDOM yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Analis Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja.

### 2.2. Tahap-Tahap Penelitian

#### a. Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum pengambilan data, dilakukan penyiapan alat dan bahan. Peralatan yang digunakan yaitu Spektrofotometer *UV-Vis merk* Shimadzu tipe 1800, *water quality checker* (pH meter, DO meter, termometer), pompa vakum, pipet mikro, alat-alat gelas, dan botol sampel. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu akuades, kertas saring GF/F0,7  $\mu\text{m}$ , larutan asam klorida 1%, asam sulfat 5 N, larutan sulfanilamid, reagen nitrit 2 (N-(1 Nafthil)- etilendiamin dihidroklorida), larutan oksidator, larutan fenol, larutan natrium nitro purisida 0,5%, larutan alkali sitrat, dan larutan natrium hipoklorit.

#### b. Pembersihan Botol Sampel

Botol sampel dan tutupnya direndam terlebih dahulu ke dalam larutan asam klorida 1% selama 1 hari, kemudian direndam dalam akuades selama 1 hari.

#### c. Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel berdasarkan *Purposive Sampling*, artinya penarikan sampel yang dilakukan memilih subjek berdasarkan kriteria spesifik yang ditetapkan peneliti berdasarkan ciri atau sifat-sifat populasi yang sudah diketahui sebelumnya. Sampel diambil di danau Beratan yang mewakili daerah pariwisata pada koordinat 08°16.773'S, 115°09.962'E. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mencelupkan botol sampel pada permukaan air danau, kemudian disaring menggunakan kertas saring GF/F 0,7  $\mu\text{m}$  dengan bantuan pompa vakum. Sampel yang diambil ditempatkan pada 2 buah botol yang berbeda, setelah itu, botol sampel diberikan label dan kemudian dimasukkan ke dalam kotak yang telah dirancang khusus agar sampel tidak tertumpah selama pengangkutan ke laboratorium. Sampel pada botol pertama diletakkan dalam

tempat gelap dan berfungsi sebagai kontrol dan sampel pada botol kedua diletakkan di bawah sinar matahari. Sampel dan kontrol diuji nilai nutrisi, pH, DO, suhu serta nilai CDOM nya setiap 2 jam sekali.

#### d. Pengukuran Nutrien Terlarut

##### Amonium

Pertama – tama disiapkan alat dan bahan, dipipet sampel air danau sebanyak 25 mL ke dalam labu ukur 50 mL. Kemudian ditambahkan 1 mL fenol, 1 mL natrium nitroprusida, dan 2,5 mL oksidator, dihomogenkan. Labu ukur ditempatkan ke dalam ruang yang tertutup selama 1 jam. Setelah itu diukur absorbansinya dengan menggunakan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 638 nm.

##### Nitrat

Sampel air danau diambil sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 50 mL setelah itu ditambahkan 0,5 mL HCl 1 N Pro NO<sub>3</sub> ke dalam larutan standar dan sampel air danau dan diperiksa contoh dan juga standar pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 220 nm. Larutan blanko dibuat dengan penambahan pereaksi seperti pada sampel kemudian diperiksa standar, blanko dan sampel pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 288 nm.

##### Nitrit

Alat dan bahan disiapkan kemudian larutan standar baku Nitrit, NO<sub>2</sub>-N dibuat. Sampel sebanyak 25 mL dipipet ke dalam labu ukur 50 mL, setelah itu ditambahkan 0,5 mL asam sulfanilat didiamkan larutan tersebut bereaksi selama 2–8 menit dan ditambahkan 0,5 mL larutan naftil etilendiamin dihidroklorida kedalam larutan standar dan sampel kemudian diaduk dan dibiarkan paling sedikit 10 menit. Sampel dimasukkan dalam kuvet dan diukur pada panjang gelombang 542 nm.

##### Fosfat

Sebanyak 25 mL sampel dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 50 mL, ditambahkan 1 tetes indikator fenolftalin. Jika terbentuk warna merah muda, ditambahkan tetes demi tetes H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 N sampai warna hilang. Sampel kemudian ditambahkan 4 mL larutan campuran dan dihomogenkan. Sampel dimasukkan ke dalam kuvet pada alat spektrofotometer, dan dibaca pada panjang gelombang maksimal 887,5 nm.

#### e. Pengukuran Absorbansi CDOM

Sebelum pengukuran absorbansi, sampel dibiarkan terlebih dahulu mencapai suhu kamar. Kemudian sampel diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis setiap 2 jam dengan melakukan *scanning* pada panjang gelombang 200-800 nm dengan resolusi 0,5 nm.

#### f. Analisis Data

Hasil *scanning* pada panjang gelombang 200-800 nm digunakan untuk analisis parameter *Spectral Slope* dan Berat Molekul Rerata (E<sub>2</sub>/E<sub>3</sub>). *Spectral Slope* menggunakan 3 parameter yakni parameter S<sub>300-700</sub>, S<sub>75-295</sub>, serta S<sub>350-400</sub>. Parameter S<sub>300-700</sub> dihitung menggunakan regresi linier antara ln (A(λ<sub>0</sub>)) dan area panjang gelombang 300 – 700 nm sesuai penelitian Helms *et al.* (2008):

$$A(\lambda) = A(\lambda_0)e^{-S(\lambda - \lambda_0)}$$

A adalah absorbansi pada panjang gelombang λ (nm), S adalah *spectral slope*, dan λ<sub>0</sub> adalah panjang gelombang referensi yang digunakan (330 nm). Berat Molekul Rerata dihitung dengan cara membagi absorbansi pada 254 nm dengan absorbansi pada panjang gelombang 365 nm (Helms *et al.*, 2008).

Data *spectral slope*, berat molekul rerata dan nilai nutrisi yang didapat dianalisis secara deskripsi untuk menggambarkan pengaruh fotodegradasi terhadap CDOM dan nutrisi di Danau Beratan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Penelitian

Sampel air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari lokasi objek wisata Danau Beratan, Desa Candikuning, Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan pada tanggal 3 Mei 2016 pukul 10.00 wita dan diperiksa dari tanggal 5 Mei sampai 28 Mei 2016. Danau Beratan merupakan lokasi pengambilan sampel yang didominasi oleh adanya kegiatan pariwisata, seperti paket permainan air, *restaurant* serta hotel. Sampel air yang diambil ditempatkan pada 2 tempat yang berbeda yakni tempat terang (fotodegradasi) dan tempat gelap (biodegradasi). Adapun beberapa parameter yang diperiksa yakni seperti DO, pH, suhu, absorbansi CDOM serta konsentrasi nutrien (nitrat, nitrit, *ammonia* dan fosfat). Pengujian parameter-parameter tersebut dilakukan di Laboratorium Jurusan Analis Kimia Universitas Pendidikan Ganesha. Data hasil pengukuran parameter DO, pH, serta suhu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data DO, pH, dan suhu pada sampel air.

Sampel	Parameter	Selang Waktu Pengukuran (jam)						
		0	2	4	6	8	10	12
Fotodegradasi	DO (mg/L)	5,54	5,57	4,73	4,64	3,88	4,02	4,41
	pH	10,3	8,7	8,8	8,9	8,7	8,6	8,2
	Suhu (°C)	29,1	29	32,6	36,5	39,4	38,7	35,0
Biodegradasi	DO (mg/L)	5,08	5,28	5,05	5,13	5,03	5,10	5,08
	pH	9,7	8,9	8,8	8,8	8,4	8,3	8,3
	Suhu (°C)	29,1	29,1	29,3	29,7	29,9	30,2	30,5

Data hasil pengukuran Nutrien disajikan pada Tabel 2 dan 3

Tabel 2. Data kadar nutrien terlarut yaitu *ammonia*, nitrat, nitrit dan fosfat pada sampel yang mengalami proses fotodegradasi.

Sampel	Parameter	Waktu Penyinaran (jam)						
		0	2	4	6	8	10	12
Fotodegradasi	<i>Ammonia</i> (mg/L)	0,000	0,029	0,014	0,011	0,035	0,032	0,061
	Nitrat (mg/L)	0,156	0,186	0,151	0,270	0,164	0,089	0,176
	Nitrit (mg/L)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Fosfat (mg/L)	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000	0,000

Tabel 3. Data kadar nutrien terlarut yaitu *ammonia*, nitrat, nitrit dan fosfat pada sampel yang mengalami proses biodegradasi.

Sampel	Parameter	Waktu Penyinaran (jam)						
		0	2	4	6	8	10	12
Biodegradasi	<i>Ammonia</i> (mg/L)	0,026	0,056	0,015	0,023	0,004	0,025	0,013
	Nitrat (mg/L)	0,172	0,128	0,232	0,151	0,170	0,162	0,091
	Nitrit (mg/L)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Fosfat (mg/L)	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000

Data hasil perhitungan parameter S disajikan pada Tabel 4 dan 5

Tabel 4. Data hasil perhitungan parameter S pada sampel yang mengalami proses fotodegradasi.

Sampel	Parameter S (nm <sup>-1</sup> )	Waktu Penyinaran (jam)						
		0	2	4	6	8	10	12
Fotodegradasi	$S_{300-700} \times 10^{-2}$	2,493	2,293	2,665	2,343	2,372	2,163	2,364
	$S_{275-295} \times 10^{-4}$	2,6446	2,9	2,38	2,79	2,8	2,77	2,48
	$S_{350-400} \times 10^{-5}$	2,46	2,69	2,8	3,37	3,77	3,04	2,85
	SR = $S_{275-295}/S_{350-400}$	10,74	10,805	8,511	8,279	7,446	9,137	8,727
	$E_2 : E_3$	4,5	3,8	5,7	4,75	4,75	4	4,5

Tabel 5. Data hasil perhitungan parameter S pada sampel yang mengalami proses biodegradasi.

Sampel	Parameter S (nm <sup>-1</sup> )	Waktu Penyinaran (jam)						
		0	2	4	6	8	10	12
Biodegradasi	$S_{300-700} \times 10^{-3}$	23,38	2,505	2,522	2,519	2,565	2,996	2,628
	$S_{275-295} \times 10^{-4}$	2,65	4,98	5,18	4,99	5,07	5,59	5,14
	$S_{350-400} \times 10^{-4}$	0,288	1,04	1,15	0,99	1,07	1,29	1,11
	SR = $S_{275-295}/S_{350-400}$	9,216	4,778	4,486	5,038	4,754	4,325	4,634
	$E_2 : E_3$	4,25	1,68	1,64	1,68	1,70	1,69	1,70

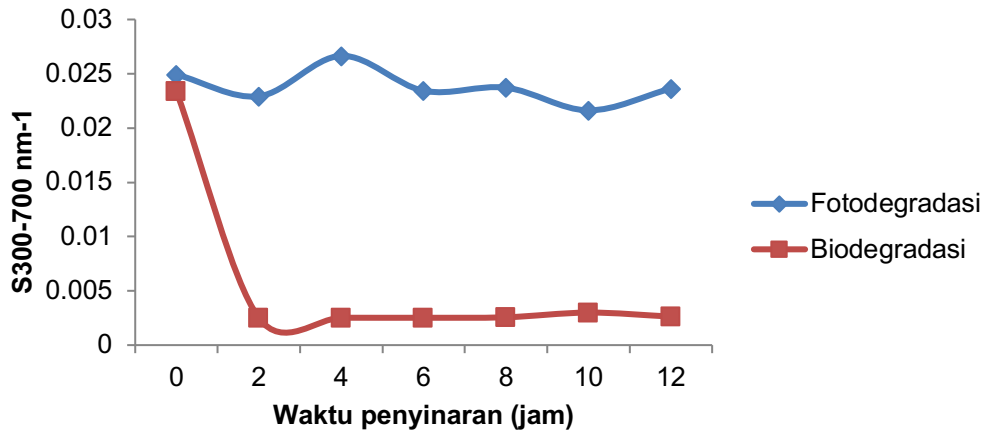
### 3.2 Pembahasan

#### 3.2.1. Fotodegradasi CDOM

CDOM adalah material terlarut yang diproses mikroba dan bahan *allochthonous* yang kaya zat humat dan sebagian besar berasal dari lingkungan darat serta mampu menyerap cahaya tampak dan UV di lingkungan air (Blough dan Del Vecchio, 2002). CDOM bersifat sangat fotoreaktif dan terdegradasi secara efisien saat terpapar radiasi sinar matahari (Mopper & Kibber, 2000). Sebagian besar radiasi UV yang mencapai permukaan perairan berinteraksi tidak hanya dengan sel hidup, tetapi juga dengan benda mati seperti CDOM, (Kirk, 1994; Moran dan Zepp, 1997). Dua proses yang paling penting dari penghapusan CDOM adalah fotodegradasi (Del Castillo, 2005; Del Castillo *et al*, 1999; Vodacek *et al*, 1995,1997; Skoog, *et al*, 1996) dan degradasi bakteri (Moran *et al*, 2000; Thurman, 1985). Fotodegradasi adalah proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Fotodegradasi juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan sinar matahari. Metode ini sangat efisien karena memanfaatkan sinar matahari yang keberadaannya melimpah.

*Spectral slope* (S) sering digunakan untuk menganalisis komposisi dari CDOM serta untuk menggambarkan perubahan karakter CDOM, baik berat molekul maupun komposisinya. S ditentukan untuk mengetahui seberapa cepat penurunan absorpsi dengan penambahan panjang gelombang (Blough & Del Vecchio, 2002), biasa diukur dalam rentang gelombang yang panjang (seperti 300-700 nm) maupun dalam rentang gelombang yang pendek (seperti 275-295 nm).

Berdasarkan Gambar 1, tidak terlihat perbedaan yang mencolok antara proses fotodegradasi (botol terang) dan biodegradasi (botol gelap), namun secara umum terlihat bahwa S pada fotodegradasi lebih besar dibandingkan biodegradasi. Hal ini berarti bahwa fotodegradasi mengakibatkan *slope* absorpsi pada panjang gelombang 300-700 nm lebih curam dibandingkan biodegradasi. Nilai S yang lebih tinggi disebabkan oleh *slope* yang lebih curam, mengindikasikan absorpsi yang lebih rendah pada gelombang yang lebih panjang (Stedmon dan Markager, 2000). Reaksi penguraian oleh mikroba (biodegradasi) menurunkan absorpsi CDOM lebih banyak di panjang gelombang pendek. Sebaliknya, reaksi penguraian oleh sinar matahari (fotodegradasi) menurunkan absorpsi CDOM lebih sedikit di panjang gelombang yang pendek. Hasil perhitungan  $S_{300-700}$ , disajikan pada Gambar 1.



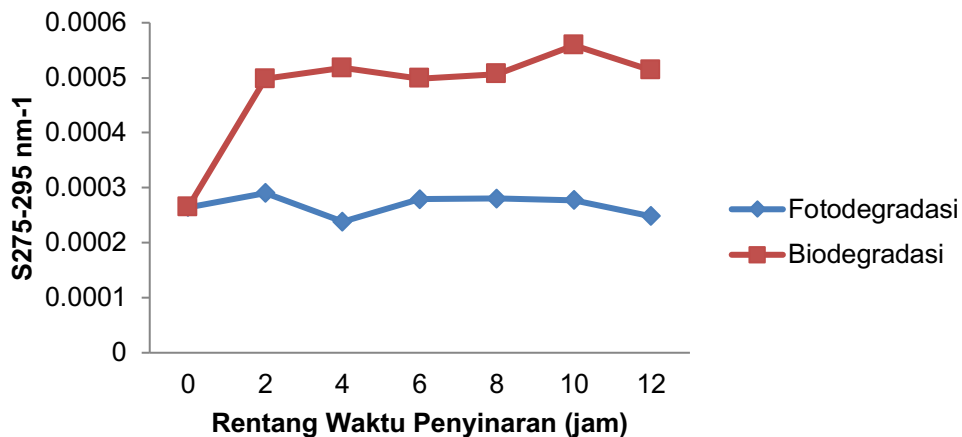
Gambar 1. Grafik hasil perhitungan  $S_{300-700} \text{ nm}^{-1}$  pada setiap rentang waktu.

Penafsiran seperti di atas biasa dilakukan oleh beberapa studi seperti [Twardowski et al. \(2004\)](#), [Helms et al. \(2008\)](#), [Fichot & Benner \(2012\)](#), terutama untuk mengetahui di panjang gelombang mana terjadi perubahan yang lebih besar. Jika terjadi di panjang gelombang yang pendek, itu berarti bahwa molekul-molekul CDOM yang besar terdegradasi. Sebaliknya, jika terjadi di panjang gelombang yang lebih panjang, berarti bahwa molekul-molekul CDOM yang lebih kecil yang terdegradasi. Namun, hal ini sepertinya bertentangan dengan teori yang menyatakan bahwa fotodegradasi merupakan jalan utama memecah CDOM menjadi molekul-molekul yang lebih kecil lagi. Menurut teori tersebut, seharusnya nilai S pada CDOM yang mengalami fotodegradasi lebih rendah dibandingkan nilai S pada CDOM yang mengalami biodegradasi.

Kekeliruan semacam ini bisa terjadi jika fotodegradasi dan biodegradasi hanya dilihat dari nilai S semata. Padahal jika dilihat perubahan absorbansinya, maka CDOM yang dipengaruhi fotodegradasi memiliki nilai absorbansi yang lebih rendah dibandingkan nilai absorbansi pada CDOM yang dipengaruhi biodegradasi. Dengan demikian, untuk menjelaskan mengenai reaksi yang melibatkan CDOM, tidak cukup dengan hanya melihat nilai S tetapi bisa dilihat dari nilai absorbansinya.

### 3.2.1.1. Parameter $S_{275-295}$

Grafik nilai  $S_{275-295}$  menunjukkan kecenderungan yang sama dengan  $S_{300-700}$  sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan penafsiran. CDOM yang dipengaruhi oleh proses fotodegradasi memiliki  $S_{275-295}$  lebih kecil dibandingkan dengan CDOM yang dipengaruhi biodegradasi. Grafik parameter  $S_{275-295}$  disajikan pada Gambar 2.

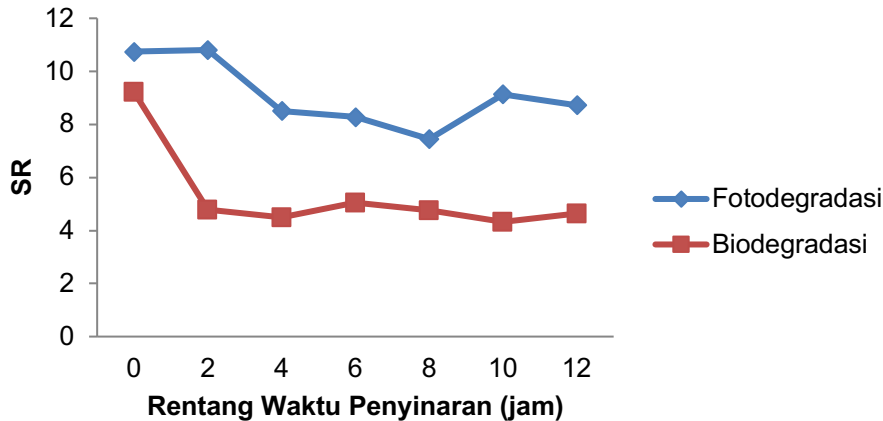


Gambar 2 Grafik parameter  $S_{275-295} \text{ nm}^{-1}$  pada setiap rentang waktu.

Nilai  $S$  yang tinggi berarti memiliki berat molekul rerata rendah yang dilihat dari absorbansi 275 nm dan 295 nm. Hal ini berarti CDOM yang dipengaruhi biodegradasi memiliki berat molekul rerata yang lebih rendah dari pada CDOM yang dipengaruhi oleh proses fotodegradasi. Berat molekul rerata yang rendah diakibatkan oleh fotodegradasi, namun bila dilihat dari absorbansi sampel pada panjang gelombang 275-295 nm, CDOM yang dipengaruhi oleh proses fotodegradasi memiliki nilai absorbansi yang lebih rendah dibandingkan dengan CDOM yang dipengaruhi oleh proses biodegradasi. Oleh karena itu, absorbansi CDOM diperlukan untuk melengkapi nilai  $S$  dalam interpretasi fotodegradasi.

### 3.2.1.2. Parameter $S_R$

$S_R$  merupakan *spectral slope* rasio, yaitu perbandingan antara  $S_{275-295}$  dan  $S_{350-400}$ .  $S_{275-295}$  merupakan salah satu komponen perhitungan, maka dapat diduga bahwa  $S_R$  memperlihatkan pola yang hampir mirip. Hasil perhitungan  $S_R$  disajikan pada Gambar 3.

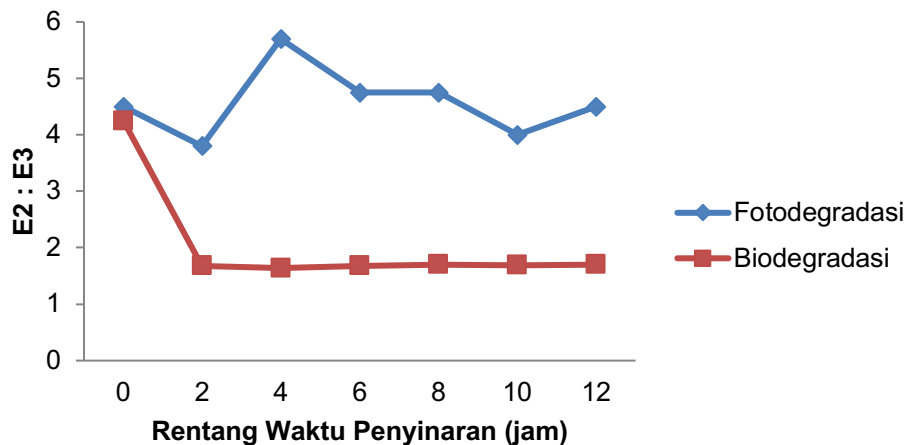


Gambar 3. Grafik hasil pengukuran  $S_R$   $\text{nm}^{-1}$  pada setiap rentang waktu.

Nilai  $S_{275-295}$  dan  $S_R$  berbanding terbalik dengan berat molekul rerata (Helms *et al.*, 2008). Nilai  $S_R$  yang lebih tinggi akibat pengaruh fotodegradasi dibandingkan biodegradasi akan menyebabkan kesalahan penafsiran seperti pada *spectral slope* lainnya. Dengan demikian, nilai  $S_R$  saja belum cukup untuk menggambarkan proses fotodegradasi. Diperlukan tambahan informasi berupa absorbansi CDOM.

### 3.2.1.3. Parameter $E_2 : E_3$

Berat molekul rerata telah diketahui berbanding terbalik dengan rasio antara absorbansi pada 254 nm dan absorbansi pada 365 nm (Agren *et al.*, 2008). De Hann & De Boer (dalam Helms *et al.*, 2008) menggunakan rasio absorbansi pada panjang gelombang 254 nm dengan 365 nm ( $E_2 : E_3$ ) untuk mengamati perubahan ukuran relatif molekul DOM. Hasil pengukuran  $E_2 : E_3$  disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hasil pengukuran  $E_2 : E_3$  pada setiap rentang waktu.

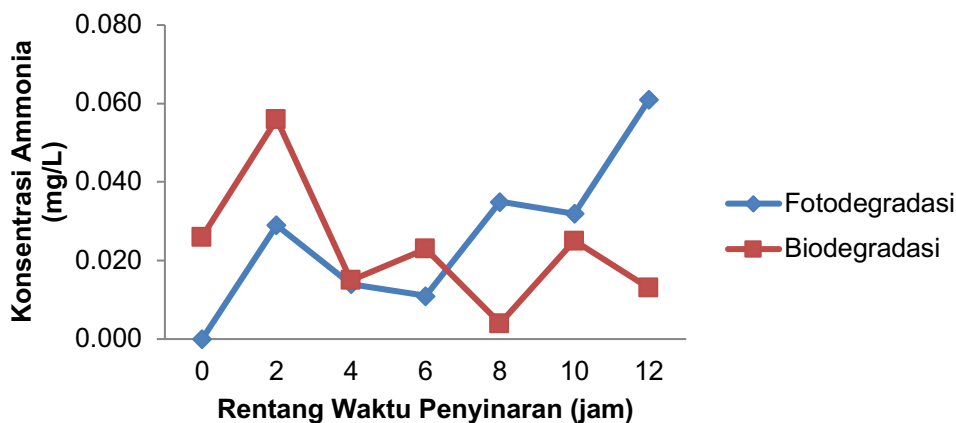


Perubahan ukuran DOM ini secara tidak langsung juga akan menggambarkan proses degradasi dari molekul-molekul DOM yang berukuran besar menjadi molekul-molekul yang berukuran lebih kecil. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai  $E_2:E_3$  pada fotodegradasi CDOM lebih besar dibandingkan dengan  $E_2:E_3$  pada biodegradasi CDOM. Hal ini mengindikasikan bahwa perbandingan absorbansi pada 254 nm dan 365 nm akibat fotodegradasi CDOM lebih tinggi (berat molekul rerata lebih besar). Secara tidak langsung, artinya bahwa fotodegradasi lebih sedikit mengubah (memecah) CDOM yang menyerap cahaya pada 254 nm menjadi molekul yang lebih kecil, yang menyerap cahaya pada 365 nm.

Namun, penggunaan nilai absorbansi seperti ini juga mengakibatkan kesalahan dalam interpretasi data. Seharusnya, fotodegradasi lebih banyak memecah CDOM menjadi molekul-molekul yang lebih kecil, sehingga berat molekul rerata CDOM rendah. Dengan demikian, nilai absorbansi CDOM saja tidak cukup untuk menggambarkan proses fotodegradasi. Diperlukan juga data S sebagai pelengkap.

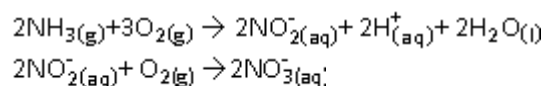
### 3.2.2. Pengukuran Nutrien Terlarut

Proses fotodegradasi CDOM mengakibatkan zat-zat organik terlarut terdekomposisi menjadi zat-zat anorganik. *Ammonia* merupakan hasil tambahan penguraian (pembusukan) protein tanaman atau hewan atau dalam kotorannya. Hasil pengukuran *ammonia* disajikan pada Gambar 5.



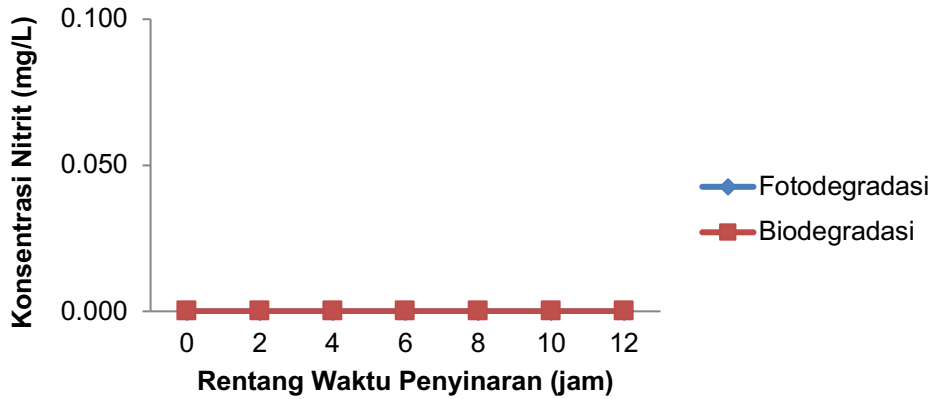
Gambar 4 Hasil pengukuran *Ammonia* pada setiap rentang waktu.

*Ammonia* di perairan adalah pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik yang terdapat di dalam tanah dan air, yang terdapat dari dekomposisi bahan organik (tumbuhan dan biota akuatik yang telah mati) oleh mikroba dan jamur. Proses ini dikenal dengan istilah amonifikasi. Secara alami *ammonia* ( $\text{NH}_3$ ) pada suatu perairan berasal dari urin dan feses yang dihasilkan oleh ikan. Dari hasil penelitian didapatkan *ammonia* yang terbentuk dari proses dekomposisi ini tidak stabil dan mudah berubah menjadi nitrit yang tidak stabil dan kemudian menjadi nitrat yang stabil. Perubahan ini disebut sebagai reaksi nitrifikasi:

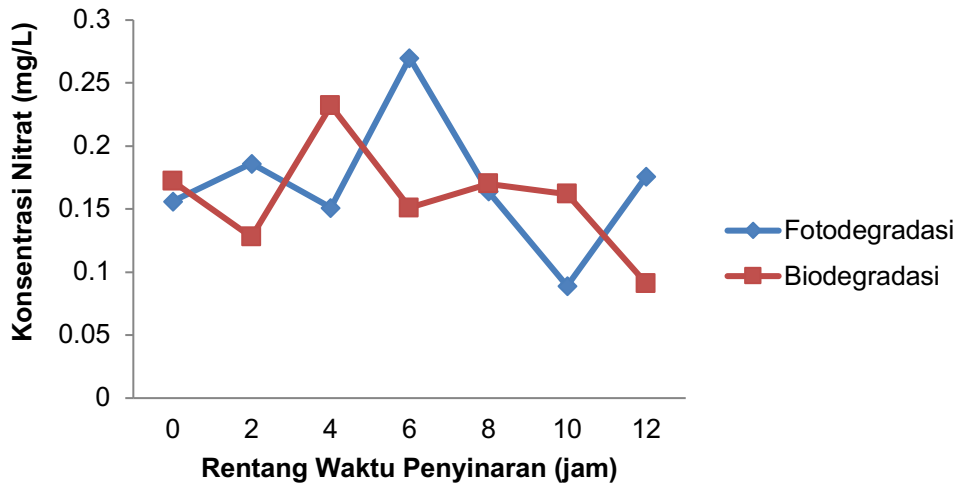


Berdasarkan reaksi di atas, maka *ammonia* secara otomatis teroksidasi menjadi nitrit dan nitrit teroksidasi menjadi nitrat. Semakin tinggi jumlah oksigen yang diperlukan untuk mendekomposisi bahan organik, maka semakin rendah oksigen terlarutnya atau sebaliknya (Gunamantha & Suryaputra, 2012). Oksigen terlarut dalam air akan mengoksidasi *ammonia* terlebih dahulu menjadi nitrit sehingga konsentrasi *ammonia* di air sangat kecil, bahkan bisa diabaikan (Gambar 5). Nitrit akan dioksidasi oleh oksigen menjadi nitrat. Gambar 6 menunjukkan konsentrasi nitrit sangatlah kecil yakni 0 mg/L. Hal ini dikarenakan nitrit yang tidak stabil, dan teroksidasi menjadi nitrat, sehingga konsentrasi nitrat meningkat sepanjang waktu sampling (Gambar 7). Proses nitrifikasi ini juga melepaskan ion  $\text{H}^+$  sehingga pH akan mengalami sedikit penurunan sekitar 1. Dengan demikian, pada proses ini, spesies nitrogen merupakan zat yang

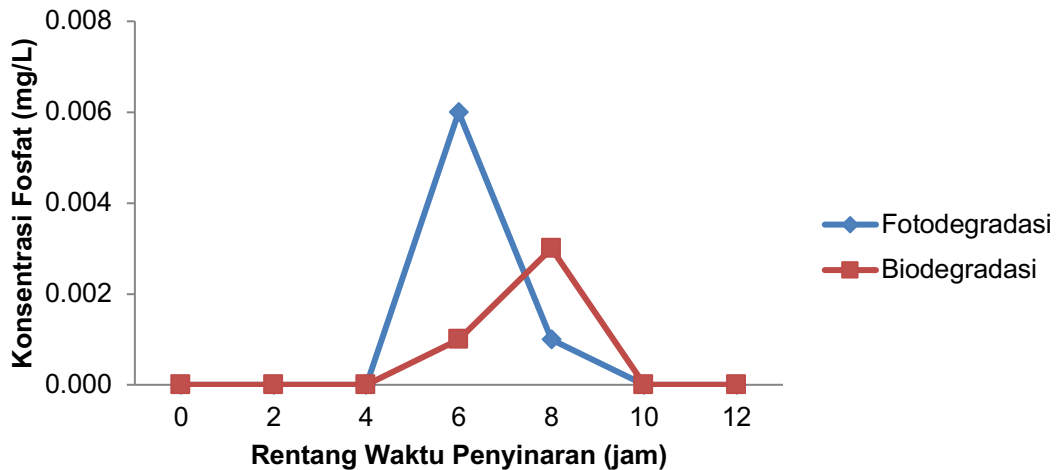
terbentuk dari fotodegradasi CDOM. Berdasarkan Peraturan Gubernur Bali No. 8 tahun 2007 tentang Baku Mutu Air Kelas II kadar *ammonia*, nitrat dan nitrit pada sampel masih memenuhi syarat.



Gambar 5. Hasil pengukuran Nitrit pada setiap rentang waktu



Gambar 6 Hasil pengukuran Nitrat pada setiap rentang waktu



Gambar 7. Hasil Pengukuran Fosfat pada setiap rentang waktu

Tidak seperti *ammonia*, nitrit, dan nitrat, fosfat merupakan zat terlarut yang tidak berhubungan langsung dengan fotodegradasi CDOM. Fosfat dalam air ion fosfat. Ion fosfat dibutuhkan pada proses fotosintesis dan proses lainnya dalam tumbuhan (bentuk ATP, ADP, dan Nukleotid koenzim). Senyawa fosfat memasuki air melalui beberapa cara seperti melalui kotoran,

sisa pertanian, kotoran hewan dan sisa tanaman dan hewan yang mati. Selain itu, senyawa fosfat dapat bersumber dari air buangan penduduk dan industri yang menggunakan bahan deterjen yang mengandung fosfat, seperti industri pencucian, industri logam, air buangan penduduk dan sisa makanan yang dibuang langsung ke perairan (Sasongko, 2006).

Fosfat merupakan nutrien pembatas dalam eutrofikasi, artinya air dapat mempunyai misalnya konsentrasi nitrat yang tinggi tanpa percepatan eutrofikasi asalkan konsentrasi fosfat sangat rendah. Berdasarkan Peraturan Gubernur Bali No. 8 tahun 2007 tentang Baku Mutu Air Kelas II kadar Fosfat yang diperbolehkan yakni 0,2 mg/L, dan kadar fosfat pada sampel < 0,2 mg/L, yang berarti kadar fosfat sampel memenuhi syarat.

#### 4. Simpulan

Proses fotodegradasi memecah lebih banyak molekul-molekul CDOM yang besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil, dibandingkan dengan biodegradasi. Hal ini terlihat dari penurunan absorbansi CDOM yang lebih besar pada proses fotodegradasi. Namun, untuk menjelaskan hal tersebut, selain nilai S, dan E<sub>2</sub>:E<sub>3</sub>, nilai absorbansi juga perlu digunakan sehingga tidak terjadi kesalahan interpretasi.

Proses fotodegradasi CDOM mengakibatkan zat-zat organik terlarut terdekomposisi menjadi zat-zat anorganik. Amoniak yang terbentuk akan teroksidasi menjadi nitrit dan nitrit juga akan teroksidasi menjadi nitrat, sedangkan fosfat tidak berhubungan langsung (terbentuk atau terurai) dari CDOM. Keberadaan fosfat dalam ekosistem air menjadi faktor penentu dalam proses fotosintesis.

#### Daftar Pustaka

- Ågren, A., Jansson, M., Ivarsson, H., Bishop, K. and Seibert, J., 2008. Seasonal and runoff-related changes in total organic carbon concentrations in the River Öre, Northern Sweden. *Aquatic Sciences*, 70, pp.21-29.
- Badan Pusat Statistik. 2015. Bali dalam Angka "Bali in Figures 2015". Denpasar: BPS Provinsi Bali
- Chen, Y. et al. 1977. *Information provided on humic substances by E4/E6 ratios*. Soil Science Society of America Journal, 41(2), 352-358.
- Chin, Y. P. et al. 1994. *Molecular weight, polydispersity, and spectroscopic properties of aquatic humic substances*. Environmental Science & Technology, 28(11), 1853-1858.
- Corbett, C.A., 2007. Colored Dissolved Organic matter (CDOM) workshop summary.
- Fichot, C.G. and Benner, R., 2012. The spectral slope coefficient of chromophoric dissolved organic matter (S<sub>275-295</sub>) as a tracer of terrigenous dissolved organic carbon in river-influenced ocean margins. *Limnology and oceanography*, 57(5), pp.1453-1466.
- Guéguen, C., Guo, L. and Tanaka, N., 2005. Distributions and characteristics of colored dissolved organic matter in the Western Arctic Ocean. *Continental Shelf Research*, 25(10), pp.1195-1207.
- Gunamantha, I Made dan Suryaputra, I G. N. A. 2012. *Buku Ajar Analisis Air*. Singaraja: Universitas Pendidikan Ganesha.
- Helms, J.R., Stubbins, A., Ritchie, J.D., Minor, E.C., Kieber, D.J. and Mopper, K., 2008. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. *Limnology and oceanography*, 53(3), pp.955-969.
- Koukal, B. et al. 2003. *Influence of humic substances on the toxic effects of cadmium and zinc to the green alga Pseudokirchneriella subcapitata*. Chemosphere 53, 953-961.
- Kusumaningtyas, Dyah Ika dan Sumarno, Dedi. 2013. "Analisa Konsentrasi Sulfat secara Spektrofotometri di Perairan Danau Beratan dan Danau Batur, Provinsi Bali". BTL. Vol.11 No. 25-31
- Mopper, K. and Kieber, D.J., 2000. Marine photochemistry and its impact on carbon cycling. *The effects of UV radiation in the marine environment*, 10, pp.101-129.
- Mulholland, P.J., 2003. *Large-scale patterns in dissolved organic carbon concentration, flux, and sources*. Aquatic ecosystems: Interactivity of dissolved organic matter. Academic: 139-159.
- Muniz, I. P. 1990. Freshwater acidification: its effects on species and communities of freshwater microbes, plants and animals. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Section B: Biological Sciences*, 97, 227-254.
- Peuravouri, J., dan Kalevi Pihlaja. 1997. *Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances*. Analytica Chimica Acta, 337(2), 133-149.

- Rahadiani, A.A. et al. 2014. "Partisipasi Masyarakat Sekitar Danau Beratan dalam Konservasi Sumber Daya Air". Vol. 2, No. 2
- Sasongko, L.A., 2006. *Kontribusi Air Limbah Domestik Penduduk Di Sekitar Sungai Tuk Terhadap Kualitas Air Sungai Kaligarang Serta Upaya Penanganannya (Studi Kasus Kelurahan Sampangan dan Bendan Ngisor Kecamatan Gajah Mungkur Kota Semarang)* (Doctoral dissertation, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro).
- Satyawan, Kadek. 2004. Penentuan Sumber-Sumber Masukan *Dissolved Organic Matter* (DOM) di Danau Beratan. Tugas Akhir (Tidak diterbitkan). Jurusan Analis Kimia, FMIPA UNDIKSHA
- Twardowski, M.S., Boss, E., Sullivan, J.M. and Donaghay, P.L., 2004. Modeling the spectral shape of absorption by chromophoric dissolved organic matter. *Marine Chemistry*, 89(1-4), pp.69-88.
- Vähätalo, A. V., dan R. G. Wetzel. 2004. *Photochemical and microbial decomposition of chromophoric dissolved organic matter during long (months–years) exposures*. *Marine Chemistry*, 89(1), 313-326.