

HUBUNGAN ANTARA KETERSEDIAAN CAHAYA MATAHARI DAN KONSENTRASI PIGMEN FOTOSINTETIK DI PERAIRAN SELAT BALI

RELATIONSHIP BETWEEN SUNLIGHT AVAILABILITY AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONCENTRATION IN BALI STRAIT WATERS

Anna Fauziah^{1,2,*}, Dietriech G. Bengen³, Mujizat Kawaroe³, Hefni Effendi⁴, dan Majariana Krisanti⁴

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor

²Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo, Sidoarjo

³Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

⁴Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK-IPB, Bogor

*E-mail: anna.apsidoarjo@gmail.com

ABSTRACT

Sunlight is one of the most important environmental factors both directly and indirectly for photosynthetic organisms in providing energy to be converted into chemical energy with the help of chlorophyll. This study aims to examine the relationship between the availability of sunlight and the concentration of photosynthetic pigments in Bali Strait waters. The study was conducted in the morning, midday and afternoon at five research stations in the Bali Strait waters. Canonical correlation analysis was used to determine the relationship between sunlight availability and photosynthetic pigment formation. The results showed that the intensity of sunlight (Y2) had more influence on the formation of chlorophyll-b (Y1) pigments with canonical correlation of 0.4512 when compared with the formation of chlorophyll-a (Y1) pigment with a correlation value of 0.3982. The higher formation of chlorophyll-b (Y1) pigments can significantly increase the formation of carotenoid pigments (Y1) with canonical correlation values of 0.7419. From these results it can be concluded that chlorophyll-b pigments and carotenoid pigments will be formed optimally at low light intensities.

Keywords: Bali Strait, carotenoids, chlorophyll-a, chlorophyll-b, sunlight

ABSTRAK

Cahaya matahari merupakan salah satu faktor lingkungan terpenting baik secara langsung maupun tidak langsung bagi organisme fotosintetik perairan dalam menyediakan energi untuk diubah menjadi energi kimia dengan bantuan klorofil. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara ketersediaan cahaya matahari dan konsentrasi pigmen fotosintetik di Perairan Selat Bali. Penelitian dilaksanakan pada pagi, siang dan sore hari pada lima stasiun penelitian di Perairan Selat Bali. Analisis korelasi kanonik digunakan untuk mengetahui hubungan antara ketersediaan cahaya matahari dan pembentukan pigmen fotosintetik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari (Y2) lebih berpengaruh terhadap pembentukan pigmen klorofil-b (Y1) dengan korelasi kanonik sebesar 0,4512 bilamana dibandingkan dengan pembentukan pigmen klorofil-a (Y1) dengan nilai korelasi sebesar 0,3982. Semakin tinggi pembentukan pigmen klorofil-b (Y1) dapat meningkatkan pembentukan pigmen karotenoid (Y1) secara signifikan dengan nilai korelasi kanonik sebesar 0,7419. Kesimpulan dari hasil ini, bahwa pigmen klorofil-b dan pigmen karotenoid akan terbentuk secara optimum pada intensitas cahaya rendah.

Kata kunci: cahaya matahari, karotenoid, klorofil-a, klorofil-b, Selat Bali

I. PENDAHULUAN

Cahaya Matahari mempunyai pengaruh, baik langsung maupun tidak

langsung dalam suatu lingkungan (Stoepler and Lill, 2013). Pengaruhnya pada metabolisme secara tidak langsung mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan berbagai

oeranisme dalam perairan (Darko *et al.*, 2014). Proses perkembangan yang dikendalikan cahaya ditemui pada semua tahap pertumbuhan organisme fotosintetik termasuk mikroalga (Jeffrey and Allen, 1964). Karena peranan yang mendasar dari fotosintesis di dalam metabolisme mikroalga yang merupakan kelompok phytoplankton, maka cahaya merupakan salah satu faktor lingkungan terpenting (Sosik and Mitchel, 1995; Gray *et al.*, 2007).

Cahaya menjadi sumber energi yang dibutuhkan mikroalga laut, yaitu berupa sinar matahari langsung yang masuk ke perairan (Bernardi *et al.*, 2014). Cahaya memiliki pengaruh terhadap sel mikroalga (Juneja *et al.*, 2013), dimana sebagian besar proses fotosintesis dan *photoadaptation* merupakan adaptasi terhadap rangsangan cahaya (Lande and Lewis, 1989; Rubio *et al.*, 2002; Teo *et al.*, 2014). Dalam proses ini, sel-sel alga akan mengalami perubahan dinamis dalam komposisi biokimia sel, biofisik maupun sifat fisiologis untuk meningkatkan fotosintesis dan pertumbuhan mikroalga (Hartman, 2014). Peranan cahaya matahari dalam fotosintesis adalah membantu menyediakan energi matahari untuk diubah menjadi energi kimia dengan bantuan klorofil (Ort *et al.*, 2011). Osanai *et al.* (2017) mengemukakan bahwa fotosintesis merupakan proses biokimia penting pada tumbuhan alga, dan beberapa cyanobacteria untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Energi kimia ini akan digunakan untuk menjalankan reaksi kimia pembentukan senyawa gula.

Janssen *et al.* (2014) mengemukakan bahwa proses fotosintesis dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal maupun internal. Lutz (2011) menambahkan bahwa faktor eksternal yang berpengaruh adalah cahaya, karbon dioksida, air, suhu dan mineral. Faktor internal yang dapat mempengaruhi proses fotosintesis antara lain struktur sel, kondisi klorofil, dan produk fotosintesis serta enzim-enzim dalam organ fotosintesis (Cañedo and Lizárraga, 2016).

Esteban *et al.* (2014) mengemukakan bahwa perbedaan intensitas cahaya matahari dan unsur hara menyebabkan tumbuhan mengalami perbedaan morfologi dan kandungan pigmen fotosintetik. Adaptasi terhadap cahaya menyebabkan perbedaan pada pembentukan pigmen di perairan (Sassenhagen and Rengefors, 2014). Wu (2016) menambahkan bahwa perbedaan pigmen fotosintetik perairan disebabkan oleh semakin bertambahnya kedalaman perairan dan semakin menurunnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan yang menyebabkan menurunnya laju fotosintesis mikroalga.

Ada tiga kelompok pigmen fotosintetik yang berbeda dalam melakukan penyerapan cahaya dan *photoprotective* pigmen di laut, yaitu klorofil, karotenoid dan *phycobiliproteins* (Jeffrey *et al.*, 1995). Klorofil dan karotenoid pada umumnya digunakan sebagai biomarker kuantitatif untuk mengetahui komposisi dan biomassa fitoplankton laut (Wright and Jeffrey, 2005; Buditama *et al.*, 2017). Pemantauan pigmen fitoplankton klorofil-a sering digunakan sebagai indikator eutrofikasi di perairan pesisir (Jiang *et al.*, 2017). Kandungan pigmen dalam mikroalga adalah ciri khusus dari masing-masing spesies. Penilaian ini secara tidak langsung sebagai sebuah ukuran pertumbuhan sel, serta parameter yang digunakan untuk memeriksa tingkat trofik perairan (Henriques *et al.*, 2007).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih jauh tentang hubungan antara ketersediaan cahaya matahari dan konsentrasi pigmen fotosintetik di Perairan Selat Bali.

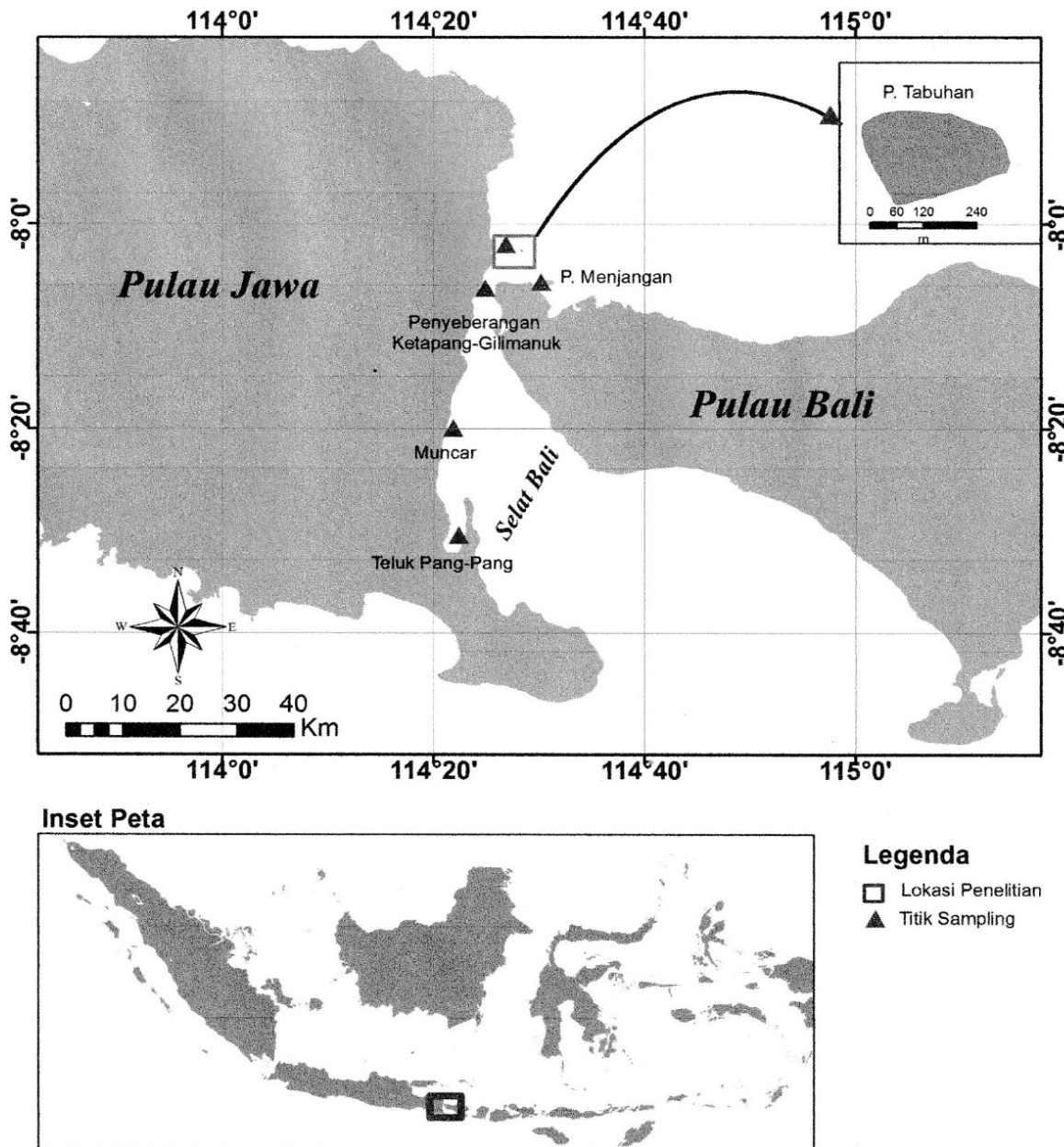
II. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Perairan Selat Bali, Indonesia. Sampel diambil di lima stasiun penelitian (Gambar 1). Stasiun 1 berada di perairan Pulau Tabuhan, Stasiun 2 di perairan Pulau Menjangan, Stasiun 3 di perairan Penyeberangan Ketapang-

Gilimanuk, Stasiun 4 di perairan Pelabuhan Muncar dan Stasiun 5 berada di perairan Teluk Pang-pang. Stasiun 1 dan 2 merupakan pulau kecil di bagian utara Selat Bali dan tidak terdapat muara sungai yang mengalir di kawasan tersebut. Stasiun 3 dan 4 merupakan kawasan yang ada aktivitas perlintasan kapal penyeberang dan industri perikanan. Aryawati *et al.* (2017) mengemukakan bahwa adanya

aktivitas antropogenik limbah pertanian, domestik, industri dan transportasi memberikan pengaruh terhadap organisme perairan. Stasiun 5 berada di teluk dan muara sungai, pengaruh air laut dan tawar berfluktuasi atau bisa sama dominannya tergantung dari pasang surut dan masukan air tawar, sehingga nutrisi dari daratan berkumpul di teluk.



Gambar 1. Lokasi dan stasiun penelitian di Perairan Selat Bali.

Sumber Peta: 1. Peta RBO Indonesia Tahun 2015; 2. Titik Lokasi Pengambilan Sampling 2017.

Penelitian dilaksanakan pada musim timur, bulan Agustus 2017. Pengambilan sampel mikroalga dilakukan pada pagi hari pukul 06.00-08.00 WIB, siang hari pukul 11.00-13.00 WIB, dan sore hari pukul 16.00-18.00 WIB, disesuaikan dengan ketersediaan cahaya matahari untuk fotosintesis mikroalga. Setiap lokasi (stasiun) penelitian dilakukan pengambilan sampel sebanyak tiga kali.

2.2. Metode Pengukuran dan Pengambilan Sampel

Intensitas cahaya matahari pada pagi, siang dan sore hari di setiap stasiun diukur dengan menggunakan *light meter*. Pengambilan sampel mikroalga (fitoplankton) dilakukan melalui penyaringan air laut sebanyak 50 L menggunakan *plankton net* Wildco 12" 100 μm Nitex® mesh, P tali =2 M (Effendi *et al.*, 2016). Air yang tersaring di dalam *plankton net* kemudian ditampung ke dalam botol sampel ukuran 250 ml disimpan dalam kondisi dingin dengan suhu 4°C menggunakan *cool box*, dibawa dan disimpan dalam *cold storage* selama 7 hari, selanjutnya disaring dengan menggunakan kertas *Whatman paper grade 42: 2,5 μm (slow filter paper)*, kemudian disimpan selama 12 jam ke dalam tabung reaksi yang berisi *acetone pigment extraction* sebanyak 10 mL dan dalam *refrigerator* (Wasmund *et al.*, 2006). Selanjutnya sampel diputar dalam *sentrifuge* dengan pemutaran sebesar 4.000 rpm selama 15 menit pada suhu 4°C (Sumanta *et al.*, 2014).

2.3. Pengukuran Pigmen Fotosintetik

Pengukuran pigmen fotosintetik menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang A_{663 nm} untuk klorofil-a, panjang gelombang A_{645 nm} untuk klorofil-b dan panjang gelombang A_{470 nm} untuk karotenoid (Sumanta *et al.*, 2014).

2.4. Analisa Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis korelasi kanonik atau *Canonical correlation analysis* (CcorA) untuk mengukur tingkat keeratan hubungan antara segugus peubah dependen (kandungan pigmen fotosintetik) dan segugus peubah independen (ketersediaan cahaya matahari di perairan), hingga mendapatkan kombinasi linear terbaik yang memaksimalkan koefisien korelasi (Yin, 2004). Analisis korelasi kanonik dilakukan dengan bantuan *software XLSTAT-2014*.

Nilai korelasi (r) berada antara -1 hingga +1, dimana nilai nol menunjukkan tidak ada hubungan antara kedua variabel. Nilai korelasi yang nyata berarti adanya hubungan yang kuat, bukan karena adanya peluang tetapi benar benar berhubungan nyata antara dua variabel tersebut (Gogtay and Thatte, 2017).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran intensitas cahaya matahari dan pigmen fotosintetik pada lima stasiun di perairan Selat Bali disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rata-rata dan simpangan baku ketersediaan cahaya matahari dan pigmen fotosintetik pada 5 stasiun penelitian di perairan Selat Bali.

Stasiun/ waktu	Intensitas Cahaya (Lux)	Klorofil-a (663 nm)	Klorofil-b (645 nm)	Karotenoid (470 nm)
St 1 pagi	4356,7±440,5	0,004±0,004	0,003±0,003	0,023±0,002
St 1 siang	9883,3±5,8	0,001±0,001	0,007±0,001	0,014±0,006
St 1 sore	753,3±125,8	0,003±0,002	0,007±0,001	0,021±0,011
St 2 pagi	8296,7±524,4	0,002±0,003	0,001±0,001	0,008±0,009
St 2 siang	9263,3±168,6	0,004±0,003	0,003±0,002	0,037±0,010
St 2 sore	516,7±32,1	0,001±0,000	0,005±0,002	0,004±0,002

Stasiun/ waktu	Intensitas Cahaya (Lux)	Klorofil-a (663 nm)	Klorofil-b (645 nm)	Karotenoid (470 nm)
St 3 pagi	2603,3±567,0	0,006±0,002	0,003±0,000	0,107±0,015
St 3 siang	9340,0±112,7	0,129±0,029	0,014±0,004	0,042±0,006
St 3 sore	870,0±17,3	0,064±0,002	0,030±0,015	0,185±0,006
St 4 pagi	463,3±28,9	0,037±0,006	0,010±0,001	0,180±0,002
St 4 siang	8753,3±234,6	0,052±0,004	0,015±0,003	0,080±0,005
St 4 sore	90,0±0,00	0,036±0,004	0,024±0,001	0,231±0,003
St 5 pagi	5726,7±666,7	0,033±0,004	0,009±0,002	0,203±0,004
St 5 Siang	9183,3±90,2	0,077±0,006	0,027±0,003	0,134±0,006
St 5 sore	120,0±10,0	0,026±0,005	0,038±0,001	0,206±0,008

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Safitri *et al.* (2014) mengemukakan bahwa pada bulan Mei - Agustus, kelimpahan klorofil-a paling banyak di perairan selatan Selat Bali yang terhubung langsung dengan Samudera Hindia. Tingginya kandungan klorofil-a di Stasiun Ketapang disebabkan pada musim timur terjadi fenomena *upwelling* di Samudera Hindia, kawasan ini memiliki tingkat kesuburan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ke empat stasiun yang lainnya. Massa air hasil *upwelling* dari Samudera Hindia yang mengandung unsur hara paling banyak memasuki perairan selatan Selat Bali. Pada musim timur juga, pengaruh dari angin musim timur yang berhembus mengakibatkan massa air yang bergerak dari selatan ke utara pada Perairan Selat Bali.

Klorofil-a merupakan pigmen kehijauan yang berperan penting dalam proses fotosintesis sebagai pigmen penangkap cahaya, karenanya klorofil-a digunakan sebagai indikator tingginya produktifitas perairan, dimana salah satu organisme laut yang mampu melakukan fotosintesis di perairan adalah mikroalga. selain klorofil-a, mikroalga juga mempunyai kemampuan untuk menghasilkan klorofil-b maupun karotenoid, yang merupakan pigmen alami berwarna merah, oranye atau kuning dari senyawa turunan terpenoid yang tidak larut air, yang berfungsi sebagai antena untuk menangkap cahaya dengan panjang gelombang lebih rendah untuk menghasilkan energi cahaya yang lebih tinggi dalam melaksanakan fotosintesis pada fotosistem I.

Terdapat hubungan yang terbalik antara panjang gelombang dengan dengan jumlah energi. Panjang gelombang pendek dapat menyimpan energi lebih tinggi pada saat terjadinya proses fotosintesis (Muhammad *et al.*, 2013). Fakhri *et al.* (2017) mengemukakan perbedaan intensitas cahaya dan unsur hara menyebabkan perbedaan morfologi dan kandungan klorofil-a, serta karotenoid.

Pagi hari kandungan pigmen karotenoid perairan paling tinggi di Stasiun Teluk Pang-Pang sebesar 0,203 yang paling rendah di Stasiun Pulau Tabuhan, yaitu 0,008. Hal ini disebabkan ketersediaan nutrien yang lebih baik di Teluk Pang-Pang yang merupakan area teluk yang tenang dengan muara sungai. Umumnya perairan yang tenang mampu menyimpan kandungan nutrien dengan baik (Setiapermana, 2006) lebih subur karena suplai bahan organik dan akumulasi aliran sungai yang membawa unsur hara dari daratan, sedangkan Pulau Tabuhan merupakan pulau dataran yang jauh dari daratan pulau besar, sehingga suplai nutrisi yang masuk ke perairan sangat terbatas.

Siang hari pembentukan pigmen karotenoid mengalami penurunan secara nyata. Kandungan pigmen paling rendah berada di Pulau menjangan 0,014 sedangkan paling tinggi juga berada di Teluk Pang-Pang 0,134. Kondisi ini dimungkinkan karena 2 hal, yaitu tingginya intensitas cahaya matahari yang melampaui batas optimal untuk fotosintesis mikroalga, sehingga direspon dengan migrasi vertikal ke perairan yang lebih

dalam. Kedua, stasiun Ketapang merupakan alur lintasan pelayaran Selat Bali yang padat, sehingga gerakan kapal dan ombak akan membawa mikroalga ke tempat lain atau menyebabkan penenggelaman mikroalga. Fotosintesa yang dilakukan mikroalga menggunakan klorofil-a, b, dan jenis pigmen tambahan yaitu karotenoid, yang secara lengkap menggunakan semua cahaya dalam spektrum tampak pada panjang gelombang 400-700 nm, cahaya yang diabsorpsi oleh pigmen fitoplankton dapat dibagi dalam cahaya dengan panjang gelombang lebih dari 600 nm, terutama diabsorpsi oleh klorofil dan cahaya dengan panjang gelombang kurang dari 600 nm, terutama diabsorpsi oleh pigmen-pigmen pelengkap atau tambahan (Levinton, 1982).

Karotenoid merupakan pigmen asesoris yang secara fisiologis fungsinya melindungi kerusakan klorofil-a. Pagi dan sore hari konsentrasi karotenoid memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan siang hari, hal ini kemungkinan disebabkan oleh pengaruh radiasi ultraviolet yang dikenal dengan *photoinhibition* (hambatan oleh cahaya) dan *photodamage* (kerusakan oleh cahaya) serta *photooxidation* (oksidasi oleh cahaya) yang disebabkan cahaya yang terlalu tinggi (Fakhri *et al.*, 2017). Kandungan pigmen karotenoid dalam perairan pada pagi dan sore hari ini lebih besar dikarenakan organisme fotosintetik salah satu di antaranya adalah mikroalga menerima sedikit cahaya dengan panjang gelombang efektif diserap oleh karotenoid (violet dan merah) yang mendorong proses fotosintesis. Menurut Gantt dan Cunningham (2001), fungsi utama pigmen kuning dan orange dalam fotosintesis

berperan sebagai pigmen tambahan dan tersedia sebagai pelindung *photooksidan* dari kelebihan cahaya dan cahaya rendah yang diserap oleh mikroalga di permukaan perairan.

Hasil analisis korelasi kanonik data pada Tabel 1 diperoleh nilai matriks korelasi sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 terlihat bahwa jika intensitas cahaya diturunkan maka akan meningkatkan pembentukan karotenoid dan juga klorofil-b; sedangkan pembentukan klorofil a tidak signifikan meningkat dengan meningkatnya ketersediaan cahaya. Penelitian ini didukung oleh Pradana *et al.* (2017) yang menyimpulkan bahwa intensitas cahaya yang berbeda tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroalga *Dunaliella* sp., sedangkan intensitas cahaya lebih berpengaruh terhadap pembentukan kandungan pigmen karotenoid pada mikroalga *Dunaliella* sp. Indrastuti *et al.* (2014) mengemukakan bahwa intensitas cahaya dari lampu 16 watt, 23 watt, dan 45 watt tidak berpengaruh pada pertumbuhan dan kandungan klorofil *Spirulina platensis*. Intensitas cahaya yang terbaik pada pertumbuhan *S. platensis* adalah pada lampu 23 watt yang terlihat dari kandungan klorofil paling tinggi dibandingkan dengan intensitas cahaya dari lampu 16 watt dan 45 watt.

Korelasi negatif antara intensitas cahaya dengan pembentukan pigmen klorofil-b dan karotenoid pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pembentukan pigmen klorofil-b dan pigmen karotenoid akan terbentuk secara optimum pada intensitas cahaya rendah. Pelah *et al.* (2004) mengemukakan bahwa karotenoid jenis astaxantin meningkat

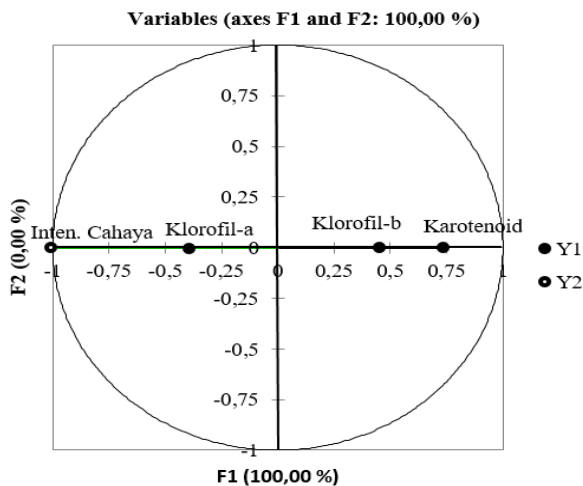
Tabel 2. Matriks korelasi intensitas cahaya dan pigmen fotosintetik.

Variabel	Klorofil-a (663 nm)	Klorofil-b (645 nm)	Karotenoid (470 nm)	Inten. Cahaya (Lux)
klorofil a (663 nm)	1	0,4655	0,2939	0,2432
klorofil b (645 nm)	0,4655	1	0,6814	-0,2756
karotenoid (470 nm)	0,2939	0,6814	1	-0,4531
Intensitas Cahaya (Lux)	0,2432	-0,2756	-0,4531	1

korelasinya pada stress intensitas cahaya rendah yang dihasilkan oleh mikroalga spesies *Chlorella zofingiensis*.

Pembentukan pigmen klorofil-a berpengaruh positif terhadap pembentukan klorofil-b, bilamana dibandingkan dengan pembentukan pigmen karotenoid. Penelitian ini sesuai dengan Beneragama and Goto (2010) yang mengemukakan bahwa rasio antara klorofil-a dan klorofil-b meningkat pada kondisi cahaya rendah pada mikroalga spesies *Euglena gracilis*. Pembentukan pigmen klorofil-b berkorelasi secara nyata terhadap pembentukan pigmen karotenoid dengan nilai korelasi sebesar 0,681. Semakin tinggi pembentukan pigmen klorofil-b, maka pembentukan pigmen karotenoid semakin besar pula.

Berdasarkan hasil analisis korelasi kanonik (Gambar 2) tampak bahwa informasi yang menggambarkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dibentuk oleh satu sumbu utama (F1) dengan akar ciri kumulatif sebesar 100%. Hal ini bermakna bahwa informasi yang didapatkan dari analisis dengan menggunakan satu sumbu tersebut sebesar 100% dari total informasi.



Gambar 2. Hasil analisis korelasi kanonik.

Gambar 2 menunjukkan bahwa terdapat 2 kelompok yang terbentuk, yaitu F1 positif dibentuk oleh karakter pigmen klorofil-b dengan nilai korelasi kanonik 0,4512 dan pigmen karotenoid dengan nilai

korelasi kanonik 0,7419. Kelompok F1 negatif dibentuk oleh karakter intensitas cahaya matahari dengan nilai korelasi kanonik -1 dan pigmen klorofil-a dengan nilai korelasi kanonik -0,3982 (Tabel 3). Hubungan ini secara nyata dikuatkan oleh hasil uji korelasi kanonik dengan nilai R-adj. = 0,6107 dan P<F = 1%.

Tabel 3. Korelasi kanonik intensitas cahaya dan pigmen fotosintetik.

Variabel	F1	F2
Klorofil-a	-0,3982	
Klorofil-b	0,4512	
Karotenoid	0,7419	
Intensitas Cahaya		-1,0000

Hubungan antara ketersediaan cahaya matahari dengan konsentrasi pigmen pada 5 stasiun penelitian di perairan Selat Bali menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari (Y2) berpengaruh negatif terhadap pembentukan pigmen klorofil-b (Y1) dengan korelasi kanonik sebesar 0,4512, dimana semakin meningkat pembentukan pigmen klorofil-b (Y1) maka pembentukan pigmen karotenoid (Y1) akan semakin meningkat secara signifikan dengan nilai korelasi kanonik sebesar 0,7419. Dengan demikian fungsi korelasi kanonik secara linier sebagai berikut (Tabel 4):

$$Y1 = Y2 - 0,753 \text{ klorofil-a} + 0,271 \text{ klorofil-b} + 0,7782 \text{ karotenoid} = - \text{intensitas cahaya} \dots \dots (1)$$

Tabel 4. Nilai koefisien standar kanonik.

Variabel	F1	F2
Klorofil-a (663nm)	-0,7534	
Klorofil-b (645nm)	0,2717	
karotenoid (470nm)	0,7782	
Intensitas Cahaya		-1,0000

Benavente-Valdés *et al.* (2016) mengemukakan bahwa kondisi cahaya adalah faktor utama yang mempengaruhi mikroalga secara fisiologi, dan faktor terpenting yang mempengaruhi fotosintesis. Intensitas cahaya yang berbeda berpengaruh secara signifikan terhadap pertumbuhan, biomassa, klorofil-a dan karotenoid. Hasil penelitian (Fakhri *et al.*, 2017) menunjukkan bahwa peningkatan intensitas cahaya menghasilkan peningkatan pertumbuhan, biomassa, klorofil-a, dan karotenoid dari *Nannochloropsis sp* pada kultur skala laboratorium dengan intensitas cahaya 4.500 lux. Dari Tabel 1 terlihat bahwa intensitas cahaya matahari pada 5 stasiun di perairan Selat Bali yang berkisar antara 8.000 sampai kurang dari 10.000 lux, menunjukkan pembentukan klorofil-a yang rendah bila dibandingkan dengan pembentukan klorofil-b dan karotenoid.

Al-Qasmi *et al.* (2012) menyebutkan bahwa mikroalga tumbuh dengan baik pada spektrum cahaya biru dibandingkan pada spektrum cahaya putih, dan menghasilkan klorofil lebih banyak. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, dimana pada cahaya rendah nilai klorofil-b lebih tinggi bila dibandingkan dengan klorofil-a. Demikian pula penelitian Demory *et al.* (2018) menunjukkan bahwa pada intensitas cahaya redup, karotenoid memainkan peranan penting dalam fotosintesis untuk menyimpan energi dengan baik, sehingga pada cahaya rendah mikroalga menghasilkan klorofil-b dan karotenoid secara signifikan sebagaimana juga terlihat dalam penelitian ini (Tabel 3).

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya matahari lebih berpengaruh terhadap pembentukan pigmen klorofil-b (korelasi kanonik 0,4512) dibandingkan dengan pembentukan pigmen klorofil-a (korelasi kanonik 0,3982). Semakin tinggi pembentukan pigmen klorofil-b dapat meningkatkan pembentukan pigmen karotenoid secara signifikan (korelasi kanonik

0,7419). Pigmen klorofil-b dan karotenoid akan terbentuk secara optimum pada intensitas cahaya rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan atas dukungan dana Beasiswa Pusat Pendidikan Kelautan dan Perikanan, BRSDMKP, Kementerian Kelautan dan Perikanan, DIPA Tahun 2015. Terima kasih diucapkan kepada Direktur Politeknik Kelautan dan Perikanan Sidoarjo yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan Pendidikan S3 Ilmu Kelautan di IPB.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qasmi, M., N. Raut, S. Talebi, S. Al-Rajhi, and T. Al-Barwani. 2012. A review of effect of light on microalgae growth. *Proc world Congr Eng. I, London, UK*, July 4 – 6 2012. 4–6 pp.
- Aryawati, R., D.G. Bengen, T. Partono, and H. Zulkifli. 2017. Abundance of phytoplankton in the coastal waters of South Sumatera. *Ilmu Kelautan*, 22(1): 31-39. <http://dx.doi.10.14710/ik.ijms.22.1.31-39>.
- Beneragama, C.K. and K. Goto. 2010. Chlorophyll a: b ratio increases under low-light in 'shade-tolerant' *Euglena gracilis*. *Tropical Agricultural Research*, 22(1):12-25. <http://dx.doi.org/10.4038/tar.v22i1.2666>.
- Benavente-Valdés, J.R., C. Aguilera, J.C. Contreras-Esquivela, A. Méndez-Zavalab, and J. Montañezb. 2016. Strategies to enhance the production of photosynthetic pigments and lipids in chlorophyceae specie. *Biotechnology Reports*, 10:117–125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2016.04.001>.
- Bernardi, A., G. Perin, E. Sforza, F. Galvanin, T. Morosinotto, and F. Bezzo. 2014. An identifiable state model to describe light intensity influence on microalgae growth. *American Chemical Society*

- Publication, Ind. Eng. Chem. Res.*, 53:6738–6749. <http://dx.doi.org/10.1021/ie500523z>.
- Buditama, G., A. Damayanti, and T.G. Pin. 2017. Identifying distribution of chlorophyll-a concentration using landsat 8 oli on marine waters area of Cirebon. *Proc of The 5th Geoinformation Science Symposium, The 3rd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite For Food Security and Environmental Monitoring 2016* 25–26 October 2016, Bogor, [Indonesia]. IOP Publishing: 1-11 <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012040>.
- Butt, M.S., N. Shahzadi, M.K. Sharif, and M. Nasir. 2007. Canonical correlation: a multivariate technique to determine the contribution of various dependent and independent variables. *IJ. Food Science and Technology*, 42: 1416–1423. <http://dx.doi.org/10.1111/j.13652621.2006.01360.x>.
- Cañedo, J.C.G. and G.L.L. Lizárraga. 2016. Considerations for photobioreactor design and operation for mass cultivation of microalgae. *Intech*. 72 p. <http://dx.doi.org/10.5772/63069>.
- Darko, E., P. Heydarizadeh, B. Schoefs, and M.R. Sabzalain. 2014. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Phil. Trans. R. Soc., B* 369:20130243. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0243>.
- Demory, D., C. Combe, P. Hartmann, A. Talec, E. Pruvost, R. Hamouda, F. Souillé, P-O. Lamare, M-O. Bristeau, J. Sainte-Marie, S. Rabouille, F. Mairet, A. Sciandra, dan O. Bernard. 2018. How do microalgae perceive light in a high-rate pond? Towards more realistic Lagrangian experiments. *R. Soc. Open sci.*, 5: 180523. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180523>
- Effendi, H., M. Kawaroe, D.F. Lestaria, Mursalina, and T. Permadia. 2016. Distribution of phytoplankton diversity and abundance in Mahakam Delta, East Kalimantan. *Procedia Environmental Sciences*, 33:496–504. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.102>.
- Esteban, R., O. Barrutia, U. Artetxe, B. Fernández-Marín, A. Hernández, and J.I. García-Plazaola. 2014. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. *New Phytologist*, 206:268–280. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.13186>.
- Fakhri, M., N.B. Arifin, A.M. Hariati, and A. Yuniarti. 2017. Growth, biomass, and chlorophyll-a and carotenoid content of *Nannochloropsis* sp. strain BJ17 under different light intensities. *JAI*, 16(1):15–21. <http://dx.doi.org/10.19027/jai.16.1.15-21>.
- Gantt, E. and F.X. Cunningham. 2001. Algal pigments. *Encyclopedia of live sciences*. John Wiley & Sons. Ltd. 52 p.
- Gogtay, N.J. and U.M. Thatte. 2017. Statistics for researchers, principles of correlation analysis. *JAPI*, 65:78-81. https://www.japi.org/march_2017/12_sfr_principles_of_correlation.pdf.
- Gray, D.W., L.A. Lewis, and Z.G. Cardon. 2007. Photosynthetic recovery following desiccation of desert green algae (Chlorophyta) and their aquatic relatives. *Plant, Cell and Environ.*, 30:1240–1255, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01704.x>.
- Hartmann, P. 2014. Effect of hydrodynamics on light utilization in large scale cultures of microalgae. *Ecole Doctorale Stic. Universite De Nice-Sophia Antipolis*. 43 p.
- Henriques, M., A. Silva, and J. Rocha. 2007. Extraction and quantification of pigments from a marine microalga: a simple and reproducible method.

- Communicating current research and educational topics and trends in applied microbiology. Mendez-Vilaz (Ed) Formatex 2007. 586-593 pp. <https://www.researchgate.net/publication/237752510>.
- Hosikian, A., S. Lim, R. Halim, and M.K. Danquah. 2010. Chlorophyll extraction from microalgae : A review on the process engineering aspects. *IJ. Chemical Engineering* 10:1-11. <http://dx.doi.org/10.1155/2010/391632>.
- Indrastuti, C., B. Sulardiono, and M.R. Muskananfola. 2014. Study of the different light intensity on chlorophyll-a concentration on the growth of microalgae *spirulina platensis* in laboratory scale. *Diponegoro J. of Maquares*, 3(4):169-174. <http://dx.doi.org/153869-ID-none>.
- Janssen, P.J.D., M.D. Lambreva, N. Plumeré, C. Bartolucci, A. Antonacci, K. Buonasera, R.N. Frese, V. Scognamigli, and G. Rea. 2014. Photosynthesis at the forefront of a sustainable life. *Frontiers in Chemistry*, 2(36):1-22. <http://dx.doi.10.3389/fchem.2014.00036>.
- Jeffrey, S.W. and M.B. Allen. 1964. Pigments, growth and photosynthesis in cultures of two *Chrysomonads*, *Coccolithus huxleyi* and a *Hymenomonas* sp. *J. gen. Microbiol.*, 36:277-288. <http://dx.doi.10.1099/00221287-36-2-277>.
- Jeffrey, S., S.W. Wright, and R.F.C. Mantoura. 1995. Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods. UNESCO, Paris. 661 p.
- Jiang, W., B.R. Knight, C. Cornelisen, P. Barter, and R. Kudela. 2017. Simplifying regional tuning of MODIS chlorophyll-a algorithms for monitoring coastal waters. *Frontiers in Marine Science*, 4:151-159. <http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2017.00151>.
- Juneja, A., R.M. Ceballos, and G.S. Murthy. 2013. Effects of Environmental factors and nutrient availability on the biochemical composition of algae for biofuels production: A review. *Energies*, 6:4607-4638. <http://dx.doi.10.3390/en6094607>.
- Lande, R. and M.R. Lewis. 1989. Models of photoadaptation and photosynthesis by algal cells in a turbulent mixed layer. *Deep-Sea Research J.*, 36: 1161-117. [http://dx.doi.org/10.1016/0198-0149\(89\)90098-8](http://dx.doi.org/10.1016/0198-0149(89)90098-8).
- Levinton, J.S. 1982. Marine ecology. Printice – Hall inc. USA. 72 p.
- Lizotte, M.P. and C. Sullivan. 1991. Photosynthesis-irradiance relationships in microalgae associated with Antarctic pack ice: evidence for in situ activity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 71: 175-184. <http://dx.doi.10.3354/meps0711175>.
- Lutzu, G.A. 2011. Analysis of the growth of microalgae in batch and semi-batch photobioreactors. International Ph.D. Program in Environmental Sciences and Engineering. Università degli Studi di Cagliari. 72 p.
- Muhammad, A., E. Kardena, dan A. Rinanti. 2013, Pengaruh intensitas cahaya terhadap penyerapan gas karbon-dioksida oleh mikroalga tropis *Ankistrodesmus* sp. Dalam fotobioreaktor. *J. Teknik Lingkungan*, 19 (2):103-116. <https://ftsl.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/8/2018/06/1.-Amalia-Muhammad.pdf>.
- Ort, D.R., X. Zhu, and A. Melis. 2011. Optimizing antenna size to maximize photosynthetic efficiency. *Plant Physiology*, 155(1):79-85. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.110.165886>.
- Osanai, T., Park. Youn-I, and Y. Nakamura. 2017. Editorial: biotechnology of microalgae, based on molecular

- biology and biochemistry of eukaryotic algae and Cyanobacteria. *Frontiers in Microbiology*, 8:118-121. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2017.00118>.
- Pelah, D., A. Sintov, and E. Cohen. 2004. The effect of salt stress on the production of canthaxanthin and astaxanthin by *Chlorella zofingiensis* grown under limited light intensity. *World J. of Microbiology & Biotechnology*, 20: 483–486. link.springer.com/article/10.1023/B:WIBI.0000040398.93103.21.
- Pradana, D.P., B. Putri, dan S. Hudaidah, Pengaruh intensitas cahaya terhadap pertumbuhan dan kandungan karotenoid *Dunaliella* sp. Pada media ekstrak daun lamtoro *leucaena leucocephala*. *Scripta Biologica*, 4 (4): 263-267. <http://dx.doi.org/10.20884/1.SB.2017.4.4.626>.
- Rubio, F.C., F.G. Camacho, J.M.F. Sevilla, Y. Chisti, and E.M. Grima. 2002. A mechanistic model of photosynthesis in microalgae. *Biotechnology And Bioengineering*, 81(4):459-473. <http://dx.doi.org/10.1002/bit.10492>.
- Safitri, D Hariyanto, dan N Sugianto. 2014. Analisa hubungan nitrat terhadap distribusi klorofil – a di perairan selatan Selat Bali pada musim timur. *J. Oseanografi*, 3(1):7-15. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>.
- Sassenhagen, I. and K Rengefors. 2014. Pigment composition and photo-acclimation as keys to the ecological success of *Gonyostomum Semen* (Raphidophyceae, Straminopiles), *J. Phycol.*, 50:1146–1154. <http://dx.doi.org/10.1111/jpy.12246>.
- Setiapermana, D. 2006. Siklus nitrogen di laut. *Oceana*, 21:19-31. http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana_xxxi%282%2919-31.pdf.
- Sosik, H.M. and Mitchell. 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System. *Deep sea Research J.*, 42 :1717-1748. [http://dx.doi.org/10.1016/0967-0637\(95\)00081-G](http://dx.doi.org/10.1016/0967-0637(95)00081-G).
- Stoepler, T.M. and J.T. Lill. 2013. Direct and indirect effects of light environment generate ecological trade-offs in herbivore performance and parasitism, *Ecology*, 94(10):2299–2310. <http://dx.doi.org/10.1890/12-2068.1>.
- Sumanta, N., C.I. Haque, J. Nishika, and R. Suprakash. 2014. Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoid from commonly grown fern species by using extracting solvents. *Res. J. Chem. Sci.*, 4(9): 63-69. <http://www.isca.in/rjcs/Archives/v4/i9/12.ISCA-ISCARJCS-2014-146.pdf>.
- Teo, C.L., A. Idrisa, S. Wahidin, and L. Wlai. 2014. Effect of different light wavelength on the growth of marine microalgae. *J. Teknologi (Sciences and Engineering)*, 67:97–100. <http://dx.doi.org/10.20884/1.SB.2017.4.4.626>.
- Wasmund, N., I. Topp, and D. Schories. 2006. Optimising the storage and extraction of chlorophyll samples. *Oceanologia*, 49(1):125-44. <http://dx.doi.org/10.1515/znc-2017-0157>.
- Wright, S.W. and S.W. Jeffrey. 2005. Pigment markers for phytoplankton production. *The Handbook of Environmental Chemistry*, 2N:71–104. http://dx.doi.org/10.1007/698_2_003.
- Wu, H. 2016. Effect of different light qualities on growth, pigment content, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in the red alga *pyropia haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta), *BioMed. Research International*, 12:1-8. <http://dx.doi.org/10.111118181155/2016/7383918>.
- Yin, X. 2004. Canonical correlation analysis based on information theory. *J. of Multivariate Analysis*, 91:161–176.

[http://dx.doi.10.1016/S0047-259X\(03\)00129-5](http://dx.doi.10.1016/S0047-259X(03)00129-5) *Received* : 24 September 2018
Reviewed : 16 December 2018
Accepted : 01 March 2019