

Potensi Klorofil dan Karotenoid Fitoplankton *Dunaliella salina* sebagai Sumber Antioksidan

Rose Dewi^{1*}, Tjahjo Winanto¹, Florensus Eko Dwi Haryono², Bintang Marhaeni¹
Ghina Hanifa¹, Dhia Nabila¹, Deny Rozaqul Muis¹, Syifa Khalisa¹

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Jenderal Soedirman

²Magister Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Soparno, Komplek GOR Soesilo Soedarman, Karangwangkal Purwokerto 53122
Email: rose.83unsoed@gmail.com

Abstrak

Dunaliella salina merupakan fitoplankton Chlorophyta yang potensial dikembangkan sebagai pakan alami, memiliki kandungan pigmen fotosintetik untuk merespon intensitas cahaya dalam proses fotosintesis yakni klorofil dan karotenoid. Salah satu pemanfaatan pigmen fotosintetik sebagai sumber antioksidan. Sejauh ini Pembudidaya ikan menggunakan pakan buatan maupun antioksidan sintesis dalam jumlah tinggi. Kajian ini diharapkan mampu meminimalisir penggunaan antioksidan sintesis dengan pemanfaatan pigmen fotosintetik. *D. salina* memiliki kemampuan mengakumulasi sejumlah pigmen fotosintetik dalam jumlah tinggi pada kondisi terstimulasi, salah satunya adanya intensitas cahaya tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui intensitas cahaya yang dapat direspon pigmen fotosintetik secara optimal. Kajian menggunakan metode eksperimental dengan variasi intensitas cahaya 500 lux(A); 1029 lux(B); 2000 lux(C). *D. salina* dikultur pada media walne 1L (3x ulangan) tiap perlakuan. Konsentrasi pigmen fotosintetik klorofil a, b dan karotenoid (mg/m³) diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada absorbansi 470, 652 dan 665 nm. Hasil menunjukkan optimalitas konsentrasi klorofil a (0,049±0,015) mg/m³, klorofil b (0,055± 0,025) mg/m³ dan karotenoid (0,178±0,122) mg/m³ pada intensitas cahaya tinggi (2000 lux). Hal ini membuktikan intensitas cahaya tinggi menyebabkan kondisi terstimulasi, yang menyebabkan *D. Salina* mengakumulasi sejumlah pigmen fotosintetik dalam jumlah tinggi. *D.salina* mampu berstrategi mentoleransi intensitas cahaya tinggi hingga ambang batas tertentu untuk mencapai optimalisasi pigmen, pembentukan produk fotosintesis serta menghasilkan senyawa antioksidan.

Kata Kunci: Fitoplankton, *Dunaliella salina*, Intensitas cahaya, Klorofil, Karotenoid

Abstract

Potential of Chloropil and Carotenoid Phytoplankton *Dunaliella salina*: source of antioxidant

Dunaliella salina is a Chlorophyta phytoplankton that has the potential to be developed as natural food, containing photosynthetic pigments to respond to light intensity in the photosynthesis process that is chlorophyll and carotenoids. One of the utilization of photosynthetic pigments as a source of antioxidants. So far, many fish cultivators use artificial feed and synthetic antioxidants. This research is expected to minimize the use of synthetic antioxidants by using photosynthetic pigments. *D. salina* has the ability to accumulate high amounts of photosynthetic pigments under stimulated conditions, one of which is the presence of high light intensity. This study aims to determine the optimal light

intensity that can be responded by photosynthetic pigments. The study used an experimental method with variations in light intensity of 500 lux(A); 1029lux(B); 2000 lux(C). D. salina was cultured on 1L Walne medium (3x replicates) for each treatment. The concentrations of photosynthetic pigments chlorophyll a, b and carotenoids (mg/m³) were measured using a UV-Vis spectrophotometer at absorbances of 470, 652 and 665 nm. The results showed that the optimal concentration of chlorophyll a (0.049±0.015) mg/m³, chlorophyll b (0.055±0.025) mg/m³ and carotenoids (0.178±0.122) mg/m³ at high light intensity (2000 lux). This proves that high light intensity causes a stimulated condition, which causes D. Salina to accumulate high amounts of photosynthetic pigments. D.salina is able to tolerate strategies of high light intensity up to a certain threshold to achieve pigment optimization, formation of photosynthetic products and produce antioxidant compounds.

Keywords: Phytoplankton, *Dunaliella salina*, Light intensity, Chlorophyll, Carotenoids

PENDAHULUAN

Dunaliella salina merupakan jenis fitoplankton Chlorophyta yang potensial dikembangkan sebagai pakan alami dalam usaha akuakultur. Konsentrasi nutrisi *D. salina* dalam berat kering terdiri atas protein 57%, karbohidrat 32% dan lipid 6% (Hasanuddin, 2012). *D. salina* memiliki variasi morfologi seperti oval, silindris, elipsoidal, telur, bola, spindle dengan radial, bilateral simetris, dorsiventral. Bentuk morfologi tersebut dapat mengalami perubahan sesuai dengan kondisi lingkungan. Demikian pula ukuran sel yang beragam, sebagai bentuk penyesuaian fase pertumbuhan serta sebagai respon terhadap intensitas cahaya (Oren, 2005).

Nur (2014) menyatakan intensitas cahaya sebagai salah satu faktor penting dalam produksi fitoplankton selain suhu, media tumbuh, pH dan salinitas. Keberadaan intensitas cahaya sangat menentukan pola pertumbuhan fitoplankton. Penyerapan cahaya berkaitan dengan konsentrasi pigmen, apabila intensitas cahaya mencukupi maka penyerapan konsentrasi pigmen fotosintesis akan berjalan optimal. Jumlah konsentrasi pigmen fotosintesis tidak sama pada setiap fitoplankton, meskipun dalam satu divisi Chlorophyta. Pada fitoplankton Chlorophyta, memiliki pigmen fotosintesis klorofil, disamping pigmen aksesori lain seperti karotenoid dan xantofil. Cahaya memegang peran sangat penting dalam proses fotosintesis, karena intensitas cahaya yang diperlukan jenis fitoplankton untuk tumbuh secara maksimum berbeda-beda. Perbedaan tersebut berakibat pada perbedaan kemampuan dalam penyerapan intensitas cahaya serta panjang gelombang tertentu (Tjahjo *et al.*, 2002; Lavens dan Sorgeloos, 1996). Sejauh ini berapa intensitas cahaya optimal yang dapat diserap oleh pigmen

fotosintesis untuk mencapai respons fotosintesis belum diketahui, dikarenakan untuk mengetahui jumlah pigmen fotosintesis klorofil dan karotenoid tidak mungkin dilakukan pada perairan yang luas, maka diperlukan determinasi kuantitatif pengamatan dalam skala laboratoris.

Menurut Fauziah *et al.* (2019) pigmen fotosintetik klorofil dan karotenoid fitoplankton, berfungsi dalam menangkap dan memanfaatkan intensitas cahaya pada proses fotosintesis. Pada *D. salina* terdapat dua jenis klorofil yaitu klorofil-a yang merupakan pigmen aktif dalam fotosintesis dan klorofil-b berperan penting dalam mekanisme fotosistem selama adaptasi terhadap intensitas cahaya. Klorofil-b disintesis dari klorofil-a dengan bantuan enzim *Chlorophyll-a oxidase* (Song dan Banyo, 2011). Selanjutnya peran karotenoid *D. salina* membantu klorofil untuk menyerap cahaya dalam proses fotosintesis (Fretes *et al.*, 2012). Ditambahkan (Erlania, 2009) pigmen klorofil dan karotenoid fitoplankton menjadi komponen penting secara ekologis di perairan. Selanjutnya fitoplankton *Dunaliella*, sp. mengandung 14% β -karotenoid dari bobot keringnya, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan fortifikasi pangan serta merupakan sumber makanan yang tidak bersifat toksik. Pemanfaatan klorofil dan karotenoid dapat diaplikasikan sebagai pewarna alami makanan, obat-obatan, bahan tambahan kosmetik, agen antikanker karena berpotensi sebagai sumber antioksidan (Vilchez *et al.*, 2011).

Intensitas cahaya tertentu akan berpengaruh pada optimalitas proses fotosintesis yang akan memberikan peluang untuk peningkatan konsentrasi pigmen, produksi (*biomassa*), konsentrasi nutrisi, senyawa bioaktif sekaligus meningkatkan efisiensi energi pada fitoplankton. Terkait kondisi tersebut, maka diperlukan kajian

untuk mengetahui berapa intensitas cahaya yang dapat direspon pigmen fotosintetik (klorofil a, b dan karotenoid) secara optimal.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan secara eksperimental. Diawali studi pendahuluan dengan pengukuran langsung intensitas cahaya matahari di perairan sebagai dasar acuan perlakuan penelitian. Selanjutnya hasil determinasi kuantitatif tersebut diadopsikan dalam skala laboratoris, agar intensitas cahaya yang ditetapkan sebagai perlakuan penelitian, dapat mengikuti pola intensitas cahaya matahari di perairan.

Biota Uji fitoplankton *D. salina* diperoleh dari BBPBAP, Jepara dengan kepadatan awal sebesar 55.495 sel/mL, dikultur pada media Walne (1L), sebanyak 3 wadah sebagai ulangan pada tiap perlakuannya. Perlakuan intensitas cahaya yang digunakan : 500 lux (A) ; 1029 lux (B); 2000 lux (C). Parameter terukur adalah nilai konsentrasi klorofil a, b dan karotenoid (mg/m³).

Pengukuran Konsentrasi Klorofil a, b Fitoplankton Dunaliella salina

Sampel air untuk penentuan konsentrasi klorofil fitoplankton diawali dengan penyaringan menggunakan kertas saring whatman GF/C berdiameter 47 mm. Kertas saring diletakan pada filter holder (dibasahi dengan aquades terlebih dahulu, agar kertas saring tidak melekat), gelas saring dipasang. Sampel air sejumlah 1000 mL diletakkan diwadah dan dilakukan proses penyaringan. Penyaringan dibantu alat pompa hisap ± 30 cm Hg, sampai terlihat pori filter mampat. Filter hasil penyaringan selanjutnya diekstraksi dengan melarutkan klorofil pada 10 mL acetone 90% dan diletakan dalam tabung 15 mL, proses dilakukan pada ruang yang kedap terhadap cahaya. Dilanjutkan dengan proses sentrifugasi (filtrat pada tabung 15 mL) dengan putaran 4000 rpm selama 30 menit sampai terbentuk natan (berupa sisa kertas saring yang terbawa dan diendapkan didasar tabung reaksi) dan supernatan (berupa larutan klorofil) (Hutagalung *et al.*, 1997). Supernatan dipindahkan dalam cuvet untuk diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer varian model DMS-90 Uv-Vis. Absorban diukur pada panjang gelombang 652 nm dan 665 nm. Penentuan konsentrasi pigmen klorofil a, b menggunakan rumus perhitungan (Lichtenthaler dan Buschmann, 2001).

$$\text{Klorofil a} = (16,72 \times A. 665) - (9,16 \times A. 652)$$

$$\text{Klorofil b} = (34,09 \times A. 652) - (15,2 \times A. 665)$$

Pengukuran konsentrasi Karotenoid Fitoplankton Dunaliella salina

Metode analisis karotenoid dilakukan dengan mengambil sampel *D. salina* sebanyak 1 mL disentrifugasi pada kecepatan 1.000 rpm selama 5 menit hingga terbentuk 2 lapisan (supernatan dan endapan). Endapan yang diperoleh diekstraksi dengan 3 ml etanol dan 1,5 ml dietil eter, pemberian dietil eter berfungsi untuk memudahkan pembacaan sampel pada spektrofotometer. Selanjutnya vortex hingga homogen kemudian dilakukan penambahan 2 ml akuades dan 4 ml dietil eter. Campuran tersebut dikocok kuat dan disentrifugasi kembali pada kecepatan 1.000 rpm selama 5 menit. Lapisan dietil eter dipisahkan, kemudian diukur pada panjang gelombang 450 nm dengan suhu 4°C. Nilai yang diperoleh setara dengan microgram (µg) karotenoid per ml. Panjang gelombang diukur menggunakan spektrofotometer. Pigmen terlarut diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 470. Selanjutnya absorbansi diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan menggunakan rumus penyerapan pigmen maksimum yaitu pigmen (klorofil a, klorofil b dan Karotenoid) pada 470, 652 dan 665 nm. Penentuan konsentrasi karotenoid menggunakan rumus perhitungan (Lichtenthaler dan Buschmann, 2001) :

$$\text{Total Karotenoid} = (1000 \times A. 470 \text{ nm}) - (1,63 \times Chlo a) - (104,96 \times Chlo b) 221$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Pigmen Klorofil a

Hasil pengamatan kultur *D. salina* menunjukkan, optimalitas konsentrasi klorofil a (0,049±0,015) mg/m³ terdapat pada intensitas cahaya tinggi (2000 lux). Hal tersebut sejalan pernyataan Kawaroe (2010) dan Febriani *et al.*, (2020) pada umumnya intensitas cahaya yang lebih tinggi akan lebih efektif untuk mendukung proses fotosintesis. *D. salina* dapat mencapai tingkat optimal pada kisaran intensitas cahaya diatas 1000 lux. Diperjelas oleh Zainuri *et al.*, (2006) bahwa saat intensitas cahaya tinggi, *D. salina* akan merespon proses reproduksi dan pembelahan sel dengan waktu yang cukup cepat. Pada Intensitas cahaya tinggi mampu memberikan energi kuantum cukup besar terhadap optimalitas fase pertumbuhan melalui respon klorofil, selanjutnya akan mendukung fase pembelahan sel karena mampu

memanfaatkan nutrisi secara efisien. Hal tersebut sejalan dengan Hasanuddin (2012) bahwa respon pigmen klorofil dan pertumbuhan fitoplankton akan dipengaruhi oleh tingginya intensitas cahaya, pada umumnya intensitas cahaya yang lebih tinggi akan efektif untuk proses fotosintesis, namun tidak melebihi batas yang mampu ditolerir oleh *D. salina*.

Pigmen klorofil a, merupakan pigmen utama yang bekerja pada rangkaian reaksi terang, dan merupakan respons awal terlepasnya oksigen, menjadi permulaan proses deposit karbohidrat. Klorofil a merupakan komponen pigmen dari kloroplas yang dimiliki oleh keseluruhan fitoplankton, berperan dalam menentukan terjadinya proses fotosintesis (Dwijoseputro, 1994). Ditambahkan Clayton (2002) bahwa klorofil a merupakan indikator dari biomassa fitoplankton karena mencapai 2% dari berat keringnya. Klorofil a sebagai pigmen fotosintesis paling banyak dan besar pengaruhnya karena merupakan indikator biologis kelimpahan fitoplankton yang menentukan tingkat kesuburan perairan. Fluktuasi konsentrasi klorofil a, akan mempengaruhi fotolisis air dalam menghasilkan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*).

D. salina dengan ukuran tubuh yang relatif besar (5–7 μm) akan membutuhkan intensitas cahaya tinggi untuk optimalitas konsentrasi klorofil a pada proses fotosintesis (Oren, 2005)). Hal tersebut sejalan dengan hasil pengamatan pada perlakuan (A) dan (B) dengan intensitas cahaya rendah dibawah ≤ 1029 lux, *D. salina* tidak dapat merespon dengan baik, ditunjukkan dengan rendahnya konsentrasi klorofil a untuk mendukung fotosintesis guna pendepositan karbohidrat (glukosa) maupun dalam mempengaruhi proses metabolisme, pertumbuhan serta pembelahan sel (reproduksi).

Konsentrasi Pigmen Klorofil b

Hasil pengamatan terhadap konsentrasi klorofil b, menunjukkan pola yang sama dengan respon klorofil a. Nilai konsentrasi klorofil b tertinggi sebesar $(0,055 \pm 0,025)$ mg/m^3 terdapat pada intensitas cahaya tinggi (2000 lux), diikuti perlakuan (B) 1029 lux dan (A) 500 lux. Perlakuan intensitas cahaya dibawah ≤ 1029 lux direspon dengan rendahnya konsentrasi klorofil b. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada intensitas rendah tidak mendukung optimalitas kinerja klorofil b dalam proses fotosintesis. Menurut APHA (2005) nilai klorofil b fitoplankton dapat diketahui dengan

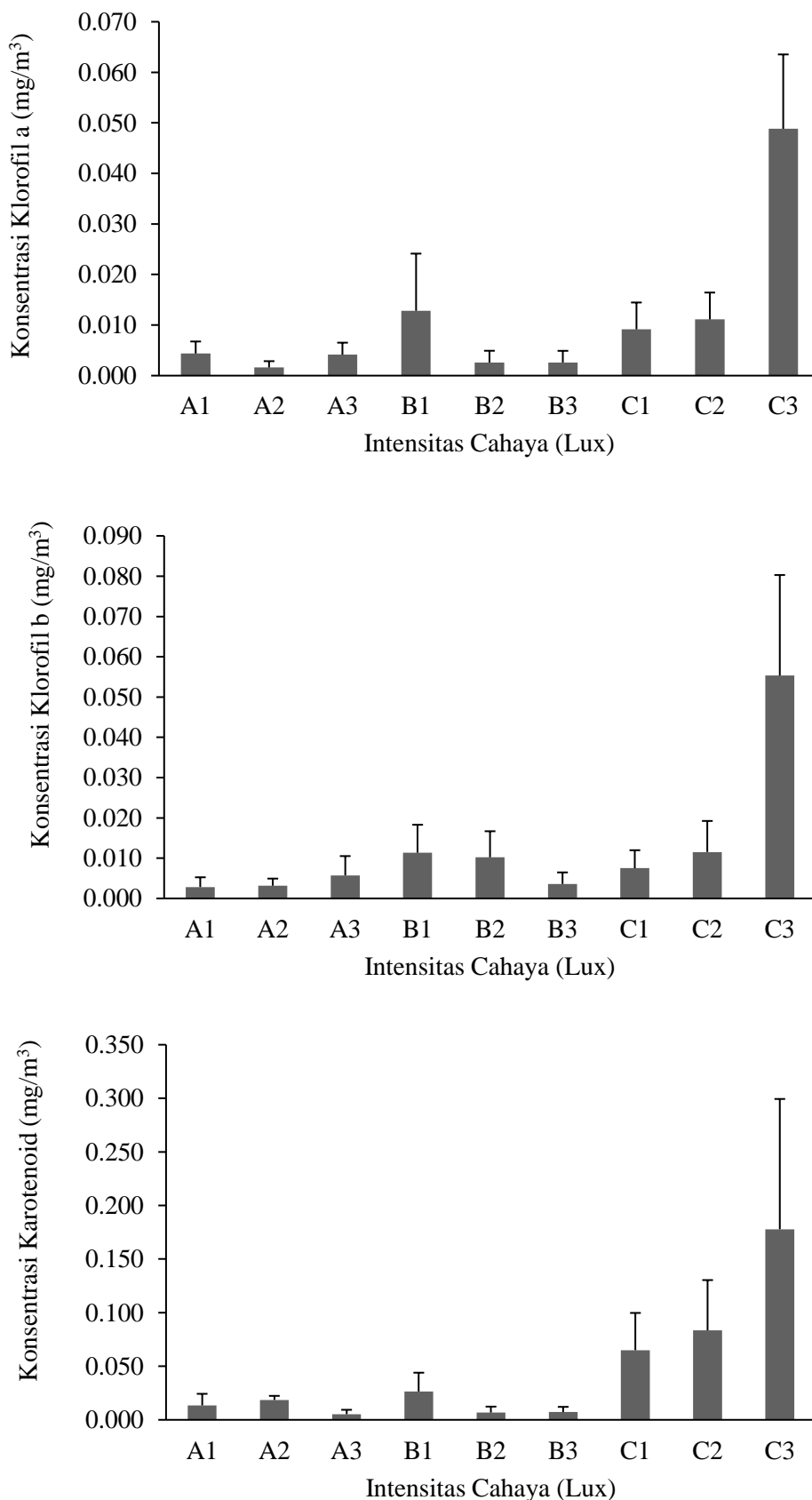
membaca slope dari klorofil a, sehingga akan memiliki kecenderungan pola yang sama. Apabila konsentrasi klorofil a tinggi, maka seiring tingginya klorofil b, dan sebaliknya. Klorofil b yang merupakan komponen pigmen asesoris dari fitoplankton.

Pigmen klorofil a dan b efektif menyerap spektrum merah, klorofil b memiliki panjang gelombang sebesar 630–648 nm dengan daya serap terhadap intensitas cahaya lebih pendek dibandingkan klorofil-a 660–682 nm (Campbell, 2000). Rendahnya konsentrasi klorofil b, akan mempengaruhi metabolisme sel fitoplankton berjalan kurang optimal, yang akan mengakibatkan ketidakstabilan deposit energi dalam perubahan ADP menjadi ATP serta pada proses deposit karbohidrat (produk fotosintesis). Diperjelas Borowitzka (1992) bahwa konsentrasi klorofil b dapat diketahui dalam waktu yang relatif singkat, karena pada proses fotosintesis, klorofil b akan mengalami proses transformasi dalam waktu relatif cepat ke dalam bentuk karbohidrat. Konsentrasi klorofil b akan mencapai tahap akhir fotosintesis dengan pendepositan karbohidrat (glukosa) sebagai produk akhir fotosintesis pada reaksi gelap.

Fitoplankton membutuhkan cahaya dalam proses fotosintesis, umumnya efektif pada intensitas cahaya tinggi namun pada batas dan kisaran tertentu. *D. salina* dapat mencapai tingkat optimal pada kisaran intensitas cahaya diatas 1000 lux, namun akan mengalami tingkat kejenuhan (saturasi) pada penyinaran antara 4000–30.000 lux (Borowitzka dan Borowitzka, (1992); Kawaroe, (2010); Kutlu dan Mutlu, (2017)). Konsentrasi klorofil berhubungan dengan konsentrasi sel fitoplankton, semakin tinggi konsentrasi sel maka akan menghasilkan konsentrasi klorofil yang tinggi (Matos *et al.*, 2007).

Konsentrasi Pigmen Karotenoid

Konsentrasi karotenoid *D. salina* tertinggi $(0,178 \pm 0,122)$ mg/m^3 , terjadi pada perlakuan (C) 2000 lux, diikuti perlakuan (B) 1029 lux dan (A) 500 lux, pola tersebut sama seperti respon pada klorofil a, b. Tingginya konsentrasi karotenoid pada intensitas tinggi sejalan dengan hasil penelitian Febriani *et al.*, (2020) bahwa perlakuan terbaik untuk menghasilkan karotenoid tertinggi dengan pemberian intensitas cahaya tinggi. Pada kondisi intensitas cahaya tinggi, enzim dapat



Gambar 1. Konsentrasi Klorofil a, b dan Karotenoid *Dunaliella salina* dengan Perlakuan Intensitas Cahaya (A) 500 lux ; (B) 1029 lux ; (C) 2000 lux.

bekerja secara optimal, mampu meningkatkan enzim *carotenoid hydroxylase* (CH) dan *phytoene syntase* (PSY) yang merupakan prekursor pembentukan phytoene. Kedua enzyme tersebut menyebabkan jumlah phytoene juga meningkat. Meningkatnya *phytoene* dapat mempengaruhi meningkatnya jumlah karotenoid yang disintesis (Steinbrenner dan Linden, 2001). Ditambahkan Pital dan Lele (2005) pada kondisi lingkungan yang kurang sesuai seperti intensitas cahaya dan salinitas tinggi, akan menyebabkan fisiologis *D. salina* mengalami ketidakseimbangan, sebagai bentuk pertahanan diri selanjutnya akan mensintesis karotenoid dalam jumlah tinggi. Hal ini yang menyebabkan *D. salina* mampu bertahan pada kondisi lingkungan ekstrim.

Intensitas cahaya merupakan faktor penting bagi fitoplankton selain nutrisi yang mampu meningkatkan ATP yang dihasilkan pada proses fotosintesis, naiknya ATP akan memicu semakin cepatnya laju metabolisme dan peningkatan karotenoid (Peri *et al.*, 2009). Pernyataan tersebut sejalan Hasanuddin (2012) bahwa pertumbuhan fitoplankton dipengaruhi oleh tinggi rendahnya intensitas cahaya. Tingginya intensitas cahaya mampu meningkatkan kepadatan sel dan konsentrasi β -karoten *D. salina*. Intensitas cahaya yang semakin tinggi pun akan menunjukkan pola pertumbuhan *D. salina* semakin cepat dalam mencapai puncak pertumbuhan (Pradana, 2017).

Menurut (Kojo, 2004) pigmen karotenoid berperan sebagai pigmen yang menyerap intensitas cahaya dengan kisaran 400–500 nm yang tidak dapat diserap klorofil. Ditambahkan Maleta *et al.*, (2018) pigmen karotenoid berperan sebagai fotoprotektor untuk mencegah terbentuknya triplet oksigen (klorofil berikatan dengan oksigen) sehingga oksigen tunggal tidak dihasilkan. Pigmen karotenoid juga berguna untuk melindungi sel fitoplankton dari reaksi oksidatif serta sebagai pertahanan diri pada kondisi stress (Fretes *et al.*, 2012)

Menurut Raja *et al.* (2007) *D. salina* memiliki kemampuan untuk mengakumulasi sejumlah karotenoid alami dalam jumlah sangat tinggi pada beberapa kondisi stress saat terstimulasi intensitas cahaya tinggi. *D. salina* mampu mengakumulasi sejumlah karotenoid tinggi (12,6% berat kering), β -karoten (60,4% dari karotenoid total), astaxantin (17,7%), zeaxantin (13,4%), Lutein (4,6%) dan Kriptoxantin (3,9%) ketika dikultur pada kondisi stress (El-Baky *et al.*, 2007). Intensitas cahaya tertentu akan memberikan

peluang meningkatkan produksi (biomassa), kuantitas (pigmen, nutrisi dan senyawa bioaktif) sekaligus merupakan cara untuk meningkatkan efisiensi energi serta kemampuan untuk mengakumulasi karotenoid dalam jumlah tinggi pada saat kondisi stress akibat adanya nitrogen, salinitas dan intensitas cahaya tinggi (Raja *et al.*, 2007; Yan *et al.*, 2013 ; Zhao *et al.*, 2013).

Secara ekologis klorofil dan karotenoid merupakan komponen penting di perairan, digunakan sebagai biomarker kuantitatif untuk mengetahui komposisi dan kepadatan fitoplankton. Sehingga dapat digunakan sebagai parameter biologis untuk menganalisis kualitas perairan (Erlania, (2009); Fauziah *et al.*, (2019). Pada kajian bioteknologi klorofil dan karotenoid merupakan pigmen alami yang memiliki kandungan senyawa bioaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai pangan fungsional antioksidan yang telah banyak digunakan dalam industri perikanan, pangan serta kesehatan (Ferruzi dan Blakeslee, 2007; Gouveia *et al.*, (2010) ;Tan *et al.*, 2020).

Pemanfaatan pada industri perikanan dijelaskan oleh Zainuri *et al.*, (2006) bahwa *Dunaliella salina* memiliki potensi sumber karotenoid sebagai *feed additive* atau *feed suplemen* dalam budidaya ikan karena pemenuhan kebutuhan karotenoid selama ini didominasi oleh produksi karotenoid sintetik. Aplikasi fusi protoplas pada produksi karotenoid *Dunaliella salina* dapat digunakan sebagai pakan unggul dan meningkatkan daya tahan tubuh larva udang (Kusumaningrum dan Zainuri, 2013). Pada bidang industri pangan dan kesehatan manfaat mengkonsumsi pigmen klorofil, mampu menurunkan risiko kanker. Pigmen karotenoid banyak digunakan dalam industri pangan karena mengandung sumber antioksidan dan pro-vitamin A, serta dapat digunakan sebagai zat pewarna aditif. Selanjutnya β -karoten mempunyai manfaat sebagai obat antikanker, obat penuaan (anti-aging) dan sistem imun (*Immunomodulatory properties*) ((Russel, (2002); Balder *et al.*, (2006)).

KESIMPULAN

Optimalitas konsentrasi pigmen fotosintetik klorofil a, b dan karotenoid *Dunaliella salina* pada ketiga perlakuan menunjukkan pola yang sama, terbaik pada intensitas cahaya tinggi (2000 lux). *D. salina* merupakan fitoplankton yang memiliki toleransi tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan, ditunjukkan pada saat terstimulasi intensitas cahaya tinggi mampu mengakumulasi

konsentrasi klorofil dan karotenoid alami dalam jumlah sangat tinggi. Klorofil dan karotenoid merupakan pigmen fotosintetik alami yang memiliki kandungan senyawa bioaktif, yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan fungsional berantioksidan

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Jenderal Soedirman yang telah mendanai pelaksanaan penelitian ini, melalui Dana Hibah Kompetitif Riset Dasar BLU Unsoed TA 2021 dengan Nomor kontrak No: T/726/UN23.18/PT.01.03/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 2005. Standart Methods For The Examination Of Water And Waste water. 21st Edition. Edited By: Andrew.D Eaton, Lenore.S Clesceri, Eugene.W Rice, Arnold.E Greenberg. Centennial Edition. American Public Healt Association, American Water Work Association and Water Environment Federation. AWWA and WPCF. New York.
- Balder, H.F., Vogel, J., Jansen, M.C.J.F., Weijenberg, M.P., Van den Brandt, P.A., Westenbrink, S., Van der Meerand, R., & Goldbohm, R.A.. 2006. Heme and chlorophyll intake and risk of colorectal cancer in the Netherlands cohort study. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 15:717-725.
- Borowitzka. M.A. & Borowitzka, L.J. 1992. Micro-Algal Biotechnology. Cambridge University Press. Newyork. Pp 470
- Campbell, N., Jane, B.R. & Lawrence, G.M. 2000. Biologi. Erlangga, Jakarta.
- Clayton, R.K. 2002. Research On Photosynthetic Reaction Centre From 1932 to 1987. Minireview. *Photosynthetic Research*. 73: 63-71. Kluwer Academic Publishers. Printed In The Netherlands
- Dwijoseputro. 1994. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 232 Hal.
- El-Baky, H.H., El Baz, F.K., & El Baroty, G.S. 2007. Production of carotenoids from marine microalgae and its evaluation as safe food colorant and lowering cholestrol agent. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 2(6):792-800.
- Erlania. 2009. Prospek Pemanfaatan Mikroalga sebagai Sumber Pangan Alternatif dan Bahan Fortifikasi Pangan. *Media Akualkultur*, 4(1):59-66. doi: 10.15578/ma.4.1.2009.59-66
- Fauziah, A., Bengen, D.G., Kawaroe, M., Effendi, H. & Krisanti, M. 2019. Hubungan Antara Ketersediaan Cahaya Matahari dan Konsentrasi Pigmen Fotosintetik di Perairan Selat Bali. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(1):37-48. doi: 10.29244/jitkt.v11i1.23108
- Febriani, R., Hasibuan, S. & Syafridiman. 2020. Pengaruh Intensitas Cahaya Berbeda Terhadap Kepadatan dan Kandungan Karotenoid *Dunaliella salina*. *Jurnal Perikanan dan Kelautan* 25(1): 36-43
- Ferruzi, M.G. & Blakeslee, J. 2007, Digestion, Absorption, and Cancer Preventive Activity of Dietary Chlorophyll Derivatives. *Nutrition Research*, 27:1-12.
- Frete, H., Susanto, A.B., Prasetyo, B. & Limantara, L. 2012. Karotenoid dari Mikroalga dan Mikroalga: Potensi Kesehatan, Aplikasi dan Bioteknologi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 23(2):221-228. doi: 10.6066/jtip.2012.23.2.221
- Gouveia, L., Marques, A.E., Sousa, J.M., Moura, P. & Bandarra, N.M., 2010. Microalgae–source of natural bioactive molecules as functional ingredients. *The Food Science and Technology Bulletin*, 7(2), p.21. doi: 10.1616/1476-2137.15884.
- Hasanudin M. 2012. Pengaruh perbedaan intensitas cahaya terhadap pertumbuhan dan kadar lipid fitoplankton *Scenedesmus* sp. yang dibudidayakan pada limbah cair tapioka. [Skripsi]. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Hutagalung, H.P., Setiapermana, D. & Riyono, S.H.. 1997. Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota. Buku 2. P₃O-LIPI. Jakarta. 181 hlm.
- Kawaroe, 2010. Mikroalga Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar. Bogor: IPB Press
- Kojo, S. 2004. Vitamin C: Basic Metabolism and Its Function as an Index of Oxidative Stress. *Curr. Med. Chem*. 11:1041–1064.
- Kusumaningrum, H.P. & M. Zainuri. 2013. Aplikasi Pakan Alami Kaya Karotenoid untuk Post Larvae *Penaeus monodon* Fab. *Jurnal Ilmu Kelautan*. 18(3): 143-149.

- Kutlu, B. & Mutlu, M. 2017. Growth and Bioaccumulation of Cadmium, Zinc, Lead, Copper in *Dunaliella* sp. Isolated from Homa Lagoon, Eastern Aegean Sea. *Indian Journal of Geo Marine Science*, 46(6):1162-1169
- Lavens, P. & Sorgeloos, P. (eds). 1996. Manual on the production and Use of live Food for Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. No. 361. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Lichtenthaler, H.K. & Buschmann, C., 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, 1(1):F4-3.
- Maleta, M.S., Indrawati, R., Limantara, L. & Brotosudarmo, T.H.P. 2018. Ragam Metode Ekstraksi Karotenoid dari Sumber Tumbuhan dalam Dekade Terakhir. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 13(1):40-50. doi: 10.23955/rkl.v13i1.10008
- Matos, A., Junior, M., Neto, E.B., Koenig, M.L. & Eskinazi, E. 2007. Chemical composition of three microalgae species for possible use in Mariculture. *Brazilian Archives of Biology and Technology an International Journal*. 50: 461–467.
- Nur, M.M.A. 2014. Potensi Mikroalga Sebagai Sumber Pangan Fungsional di Indonesia (overview). *Dalam Jurnal Eksergi* 11(2):1-6
- Oren, A. 2005. A hundred Years Of *Dunaliella* Research : 1905 – 2005. Review. Saline System. Med Central. Israel.
- Peri, P.L., Pastur, G.M. & Lencinas, M.V. 2009. Light Intensities and Water Status of Two Main *Nothofagus* Species of Southern Patagonian Forest, Argentina. *Journal of Forest Science*, 55(3):105-107
- Pisal, D.S. & Lele, S.S. 2005. Carotenoid Production from Microalga, *Dunaliella salina*. *Indian Journal Biotechnol.* 4:476- 483.
- Pradana, D.P. 2017. Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Karotenoid *Dunaliella* sp. Pada Media Ekstrak Daun Lamtoro (*Leucaena leucocephala*). [skripsi]. Lampung. Universitas lampung.
- Raja, R., Hemaiswarya., S. & Rengasamy, R. 2007. Exploitation of *Dunaliella* for B-carotene production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74:517-523
- Russell, R.M. 2002. B-carotene and Lung Cancer. *Pure and Applied Chemistry*, (74):1461-1467.
- Song, A.N. & Banyo, Y. 2011. Konsentrasi Klorofil Daun Sebagai Indikator Kekurangan Air pada Tanaman. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(2):166-172. doi: 10.35799/jis.11.2.2011. 20
- Steinbrenner, J. & Linden, H. 2001. Regulation of Two Carotenoid Biosynthesis Genes Coding for Phytoene Synthase and Carotenoid Hydroxylase during Stress-Induced Astaxanthin Formation in the Green Alga *Haematococcus pluvialis* *Plant physiology*, 125(2): 811-815.
- Tan, J.S., Lee, S.Y., Chew, K.W., Lam, M.K., Lim, J.W., Ho, S.H. & Show, P.L., 2020. A review on microalgae cultivation and harvesting, and their biomass extraction processing using ionic liquids. *Bioengineered*, 11(1):116-129.
- Tjahjo, W., Erawati, L. & Hanung, S., 2002. Budidaya Fitoplankton dan Zooplankton. Direktorat Jendral Perikanan Budidaya Departemen Kelautan dan Perikanan: Proyek Pengembangan Perencanaan Ekologi Balai Budidaya Laut Lampung, pp.1-7.
- Vílchez, C., Forján, E., Cuaresma, M., Bédmar, F., Garbayo, I. and Vega, J.M., 2011. Marine carotenoids: biological functions and commercial applications. *Marine Drugs*, 9(3): 319-333.
- Yan, C., Zhang, L., Luo, X. & Zheng, Z. 2013. Effects of various LED light wavelengths and intensities on the performance of purifying synthetic domestic sewage by microalgae at different influent C/N ratios. *Ecological Engineering*, 51: 24-32.
- Zainuri, M., Kusumaningrum, H.P. & Kusdiyantini, E. 2006. Microbiological and Ecophysiological Characterisation of Green Algae *Dunaliella* sp. for Improvement of Carotenoid Production. *Jurnal Natur Indonesia*. 10(2):66-69
- Zhao, Y., Wang., J., Zhang., H., Yan, C. & Zhang, Y. 2013. Effects of various LED light wavelengths and intensities on microalgae-based simultaneous biogas upgrading and digestate nutrient reduction process. *Bioresource Technology*, 136:461-468.