

## Kadar Pigmen Klorofil dan Karotenoid pada *Nannochloropsis* sp. dengan Perlakuan Penyinaran Ultraviolet

Julia Fransiska, Sri Sedjati\*, Hadi Endrawati

Departemen Ilmu Kelautani, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia  
Email: sedjati69@gmail.com

### Abstrak

*Nannochloropsis* sp. merupakan fitoplankton dengan kemampuan memproduksi pigmen klorofil-a, b, dan karotenoid yang berperan dalam fotosintesis. Produksi pigmen *Nannochloropsis* sp. dipengaruhi utama oleh faktor cahaya. Pemberian sinar UV berpotensi memberikan rangsangan terhadap fitoplankton pada pertumbuhan sel dan produksi pigmen. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan upaya yang sesuai untuk peningkatan kadar klorofil dan karotenoid *Nannochloropsis* sp. menggunakan perlakuan sinar UV. Rancangan penelitian melalui Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga kali pengulangan. Perlakuan sinar UV yang diberikan meliputi 4 kelompok yaitu; 0 (kontrol), 10, 20, dan 30 menit. Pengamatan kualitas air pada media dan perhitungan kepadatan sel dilakukan setiap hari hingga masing-masing kultur mencapai fase stasioner untuk pemanenan. Kadar pigmen klorofil-a, b, dan karotenoid ditentukan menggunakan metode spektrofotometri dan diuji secara statistika melalui *ANOVA One Way*. Hasil penelitian didapatkan bahwa kepadatan sel tertinggi terdapat pada kelompok pemberian sinar UV 10 menit sebesar  $1017,714 \times 10^5$  sel/mL pada fase stasioner hari ke-24. Kadar pigmen klorofil-a tertinggi pada kelompok sinar UV 20 menit, yaitu sebesar 108,46  $\mu\text{g/g}$  berat basah, klorofil-b tertinggi pada kelompok UV 30 menit, yaitu sebesar 32,93  $\mu\text{g/g}$  berat basah, dan karotenoid tertinggi pada kelompok UV 10 menit, yaitu sebesar 147,88  $\mu\text{g/g}$  berat basah. Namun, berdasarkan uji statistika pemberian sinar UV sampai 30 menit tidak memberi pengaruh nyata ( $p \geq 0,05$ ) terhadap kadar klorofil-a,b, dan karotenoid yang dihasilkan.

**Kata kunci :** Kepadatan sel, biomassa, klorofil, karotenoid

### Abstract

#### *Chlorophyll and Carotenoid Pigment Levels in Nannochloropsis sp. with Ultraviolet Irradiation Treatment*

*Nannochloropsis* sp. is a phytoplankton with the ability to produce chlorophyll-a, b, and carotenoid pigments that are useful for photosynthesis. Pigment production of *Nannochloropsis* sp. is influenced mainly by the light factor. The treatment of UV light has the potential to stimulate phytoplankton cell growth and pigment production. This study aims to determine the appropriate efforts to increase levels of chlorophyll and carotenoids *Nannochloropsis* sp. using UV light treatment. The research design was through a completely randomized design (CRD) with three repetitions. UV light treatment given includes 4 levels, namely; 0 (control), 10, 20, and 30 minutes. Observation of media water quality and cell density calculations were carried out every day until each culture reached a stationary phase for harvesting. The levels of chlorophyll-a, b, and carotenoid pigments were determined using the spectrophotometric method and statistically tested through *One Way ANOVA*. The results showed that the highest cell density was found at the 10-minute UV light level of  $1017,714 \times 10^5$  cells/mL on the stationary phase on the 24th day. The highest levels of chlorophyll-a were at the UV light level of 20 minutes, which was 108.46  $\mu\text{g/g}$  wet weight, the highest chlorophyll-b was at the UV level of 30 minutes, which was 32.93  $\mu\text{g/g}$  wet weight, and the highest carotenoids were at the UV 10 level. minutes, which is 147.88  $\mu\text{g/g}$  wet weight. However, based on statistical tests, UV light up to 30 minutes did not have a significant effect ( $p \geq 0.05$ ) on the levels of chlorophyll-a, b, and carotenoids produced.

**Keywords :** Cell density, biomass, chlorophyll, carotenoid

\*Corresponding author

DOI:10.14710/buloma.v12i3.42285

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 31-07-2022

Disetujui/Accepted : 30-08-2023

## PENDAHULUAN

*Nannochloropsis* sp. merupakan salah satu jenis fitoplankton sebagai organisme autotrof mikroskopis yang mampu memproduksi sumber makanan bagi organisme heterotrof melalui fotosintesis. *Nannochloropsis* sp. dapat hidup di perairan bersuhu 25-30°C, salinitas optimum 25-35 ppt dan pada kondisi pH 8-9,5. *Nannochloropsis* sp. dapat hidup di perairan tawar maupun laut sehingga disebut bersifat kosmopolit karena dapat hidup tersebar luas pada berbagai kondisi perairan dengan salinitas 0-35 ppt (Bahua *et al.*, 2015). *Nannochloropsis* sp. sering kali dimanfaatkan sebagai makanan hidup bagi larva ikan, junevil, ataupun larva krustasea dalam budidaya akuatik. *Nannochloropsis* sp. mempunyai berbagai pigmen yang terkandung seperti klorofil-a, klorofil-b, dan karotenoid. Keberadaan pigmen tersebut berperan dalam fotosintesis menjalankan proses biokimia perubahan senyawa anorganik karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O) membentuk glukosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>). Menurut Munandar *et al.* (2016), *Nannochloropsis* sp. sering digunakan sebagai pakan alami karena bernutrisi tinggi meliputi protein sebesar 52,11%, lemak 27,65%, karbohidrat 16,00%, dan vitamin C 0,85%.

Cahaya sebagai faktor utama berpengaruh secara langsung terhadap *Nannochloropsis* sp. melalui proses fotosintesis, sedangkan pengaruh tidak langsung terhadap pertumbuhan dan perkembangan sel *Nannochloropsis* sp. Cahaya yang mengandung sinar UV (200-400 nm) menyebabkan terjadinya interaksi antara radiasi dengan tumbuhan hijau termasuk fitoplankton *Nannochloropsis* sp.. Interaksi tersebut ditandai dengan terjadinya absorpsi cahaya oleh kloroplas yang mengakibatkan perpindahan elektron antara sumber cahaya dan sel fitoplankton (Pranagari *et al.*, 2014). Elektron-elektron inilah yang dimanfaatkan oleh klorofil dalam kloroplas untuk fotosintesis. Menurut Zamani & Muhaemin (2016), cahaya merah (650-700 nm) paling kuat diserap oleh klorofil, sedangkan cahaya biru (400-500 nm) diserap oleh karotenoid. Pigmen karotenoid tersebut berperan membantu dalam mengabsorpsi cahaya sehingga spektrum cahaya dapat dimanfaatkan lebih baik. Cahaya yang terabsorpsi oleh klorofil-b, dan karotenoid akan menambah energi terhadap klorofil-a untuk berlangsungnya fotosintesis dalam reaksi terang di fotosistem I dan fotosistem II. Klorofil dan karotenoid keduanya berperan dalam penangkapan cahaya sebagai sumber energi dalam fotosintesis.

Pemberian cahaya yang mengandung sinar ultraviolet B (UV-B; 280-320 nm) terhadap *Nannochloropsis* sp. memberikan pengaruh bagi produksi pigmen klorofil dan karotenoid. Menurut Williams *et al.* (2019), pemberian sinar UV B dapat menghasilkan kadar klorofil-a maksimum 0,04566 mg/g, total klorofil maksimum 7,72x10<sup>-4</sup> mg/g, dan karotenoid maksimum sebesar 0,000186 mg/g. Sinar UV tersebut diberikan sebagai cekaman (*stress*) untuk merangsang sel *Nannochloropsis* sp. dalam memacu produksi pigmen klorofil dan karotenoid. Hal ini diduga karena terdapat respon yang baik dari sel *Nannochloropsis* sp. akibat pemberian sinar UV. Melihat fenomena tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan pengaruh perbedaan durasi waktu perlakuan sinar UV B terhadap peningkatan kadar klorofil dan karotenoid pada kultur *Nannochloropsis* sp..

## MATERI DAN METODE

Materi uji pada penelitian ini berupa bibit kultur scale up fitoplankton *Nannochloropsis* sp. yang diperoleh dari Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara, Jawa Tengah. Kegiatan penelitian ini meliputi kultivasi *Nannochloropsis* sp. dan pemanenan biomassa di Laboratorium Biologi Laut Universitas Diponegoro Semarang, sedangkan analisis pigmen di Laboratorium Pengujian dan Peralatan (BP2), Srandol Wetan, Banyumanik, Semarang.

Metode penelitian yang digunakan yaitu eksperimental laboratoris dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan yang diberikan adalah pemberian cahaya UV B, terbagi menjadi 4 kelompok perlakuan sinar UV (0 menit, 10 menit, 20 menit, dan 30 menit). Setiap kelompoknya terdiri dari 3 kali pengulangan sehingga terdapat 12 sampel kultur. Kultur *Nannochloropsis* sp. dilakukan menggunakan sistem terang 24 jam terus-menerus dengan penambahan lampu (TL 16 watt/200 lux) sebagai sumber pencahayaan. Berdasarkan Marthia (2020), kultivasi *Nannochloropsis* sp. dilakukan dalam wadah beaker glass 1000 mL dengan perbandingan 3:7 (300 mL *Nannochloropsis* sp. dan 700 mL media air laut steril bersalinitas 30 ppt). Kultur *Nannochloropsis* sp. diberi aerasi dan penambahan pupuk Walne berdosisi 0,5 mL/L di awal tahap kultur tersebut sebagai sumber nutrisi. Perlakuan sinar UV pada 4 kelompok berbeda diberikan menggunakan lampu UV B (280-320 nm) terhadap kultur *Nannochloropsis* sp. secara bergantian dan

dilakukan setiap harinya hingga masing-masing kultur mencapai fase stasioner untuk pemanenan. Kepadatan sel *Nannochloropsis* sp. dihitung setiap harinya berdasarkan Bellinger & Sigeo (2015) dengan rumus:

Kepadatan (sel/mL) =

$$\frac{\text{jumlah sel yang diamati (A+B+C+D)}}{\text{jumlah kotak yang dihitung}} \times 10^7$$

Kepadatan sel juga berhubungan dengan laju pertumbuhan spesifik *Nannochloropsis* sp.. Data laju pertumbuhan spesifik ditentukan berdasarkan kepadatan sel yang telah terhitung terlebih dahulu. Berdasarkan Wahyuni *et al.* (2019), laju pertumbuhan spesifik fitoplankton dihitung melalui rumus sebagai berikut:

$$K = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$$

Keterangan: K = Laju pertumbuhan spesifik (sel/mL/hari);  $N_0$  = Kepadatan awal populasi (sel/mL);  $N_t$  = Kepadatan akhir populasi (sel/mL); t = Waktu (hari) dari  $N_t$  ke  $N_0$

Proses panen biomassa basah dilakukan secara sentrifugasi berkecepatan 3000 rpm selama 15 menit. Supernatan dibuang dan natan (biomassa) digunakan untuk proses ekstraksi dengan cara maserasi. Natan diberi pelarut aseton 85% dengan perbandingan 1:9 (1 mL natan dan 9 mL aseton) (Muchammad *et al.*, 2019). Natan dengan pelarut aseton dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* selama 20 menit untuk selanjutnya dilakukan maserasi dalam kondisi gelap 1x24 jam pada lemari pendingin bersuhu kurang lebih 4°C. Sampel yang telah dimaserasi kemudian disentrifugasi kembali dalam waktu 20 menit berkecepatan 3000 rpm. Ekstrak dari setiap sampel disaring menggunakan kertas Whatman no. 1 dan disimpan dalam botol vial untuk dilakukan pembacaan absorbansi

menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pembacaan absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 663,2 ; 646,8 ; dan 470 nm. Perhitungan kadar pigmen menggunakan metode Lichenthaler (1987). Rumus yang dipakai adalah sebagai berikut ini:

*Chlorophyll-a* :

$$Ca (\mu\text{g/mL}) = 12,25 \times A_{663,2} - 2,79 \times A_{646,8}$$

*Chlorophyll-b* :

$$Cb (\mu\text{g/mL}) = 21,50 \times A_{646,8} - 5,1 \times A_{663,2}$$

*Carotenoid* :

$$C (\mu\text{g/mL}) = \frac{(1000 \times A_{470} - 1,82 \times Ca - 85,02 \times Cb)}{198}$$

Rumus konversi kadar pigmen ke satuan berat per berat basah yang digunakan sebagai berikut:

Pigmen ( $\mu\text{g/g}$  berat basah) =

$$\text{kadar pigmen sebelum konversi} \times \frac{\text{volume sampel}}{\text{berat sampel}}$$

Keterangan: Kadar pigmen sebelum konversi = dalam satuan  $\mu\text{g/mL}$ ; Volume sampel = 10 mL (1 mL biomassa basah + 9 mL aseton 85%); Berat sampel (g) = 1 g; Kadar pigmen setelah konversi = ( $\mu\text{g/g}$  berat basah)

Data yang diperoleh selama penelitian disusun dalam bentuk grafik dengan bantuan aplikasi *Excel* 17. Data kadar pigmen klorofil-a, klorofil-b, dan karotenoid selanjutnya digunakan dalam analisis statistika menggunakan uji *ANOVA One Way* dengan bantuan aplikasi *SPSS* versi 25.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter kualitas air selama kultivasi *Nannochloropsis* sp. yang diukur berupa suhu, salinitas, pH (derajat keasaman), dan DO (oksigen terlarut). Berdasarkan pengukuran kualitas air pada media kultur didapatkan hasil pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Parameter Kualitas Air Media Kultur *Nannochloropsis* sp.

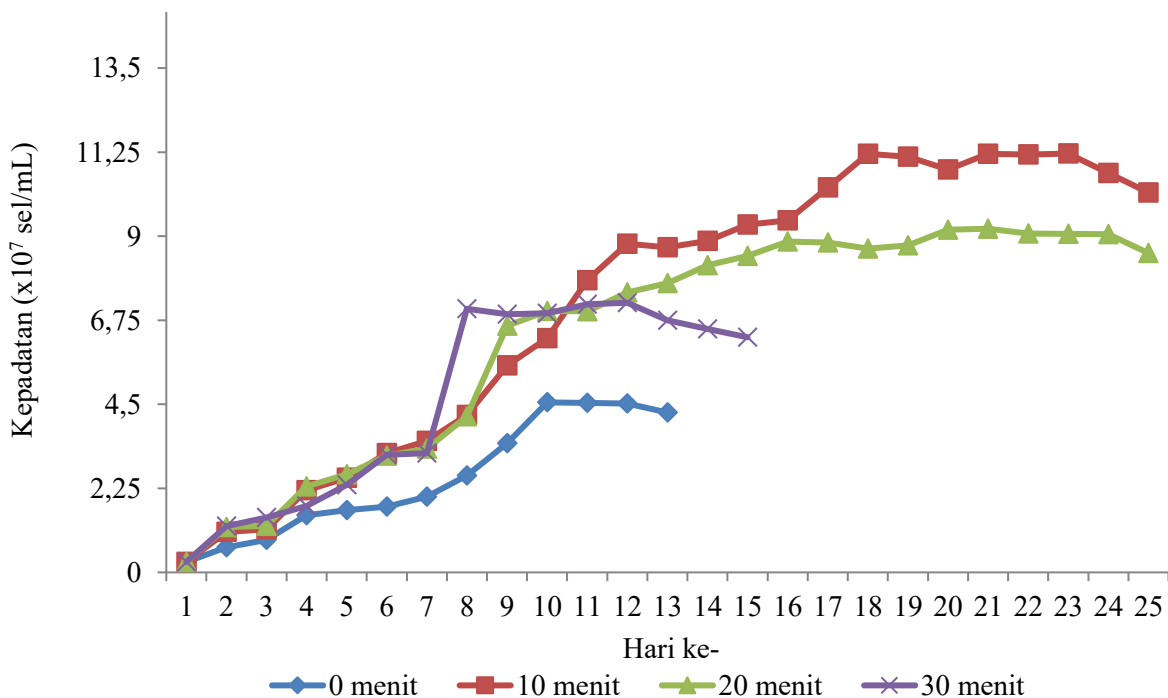
Parameter	Kontrol	Sinar UV 10 menit	Sinar UV 20 menit	Sinar UV 30 menit
Suhu (°C)	18-20	18-20	18-20	18-20
Salinitas (ppt)	30-31	30-31	30-31	30-31
pH	7,46-7,98	7,54-9,15	7,45-8,60	7,36-9,20
DO (ppm)	7,4-7,9	7,4-7,9	7,4-7,9	7,4-7,9

Hasil pengamatan parameter kualitas air tersebut dapat dikategorikan dalam kondisi normal dan air laut sebagai media kultur masih dapat digunakan hingga proses akhir tahap panen. Berdasarkan Fakhri *et al.* (2017), *Nannochloropsis* sp. dapat hidup pada salinitas 30-31 ppt, pH sekitar 7,8, dan suhu antara 18-19°C pada kondisi kultivasi skala laboratorium.

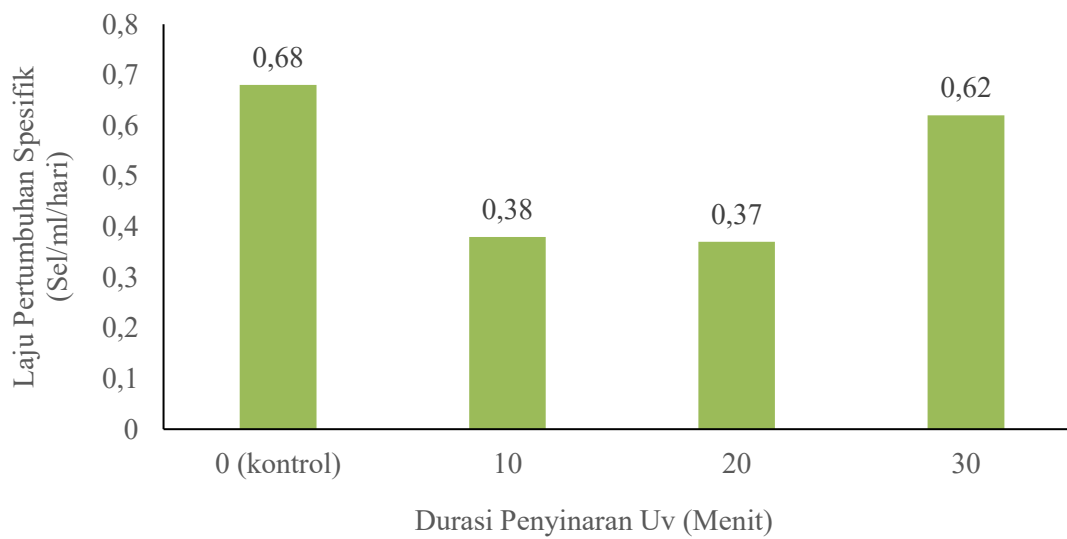
Kepadatan sel *Nannochloropsis* sp. yang diperoleh saat kepadatan puncak (eksponensial) dan waktu panen (stasioner) pada setiap sampel berada pada waktu yang berbeda-beda. Waktu pemanenan disesuaikan dengan fase stasioner didukung oleh Ru'yatin *et al.*, (2015), karena pada fase stasioner laju pertumbuhan dan laju kematian relatif seimbang di mana pertumbuhan populasi cenderung kecil. Sebelum memasuki fase stasioner, *Nannochloropsis* sp. telah mengalami puncak pertumbuhan dan kelimpahan biomassa atau kepadatan sel. Berdasarkan data yang diperoleh, kepadatan sel tertinggi pada kelompok kontrol sebesar  $4,56 \times 10^7$  sel/mL pada hari ke-9 dan fase stasioner pada hari ke-12 dengan kepadatan sebesar  $4,28 \times 10^7$  sel/mL. Kepadatan puncak pada kelompok durasi penyinaran UV 10 menit pada hari ke-17 dengan hasil  $11,21 \times 10^7$  sel/mL, sedangkan kepadatan sel pada fase stasioner pada hari ke-24 sebesar  $10,17 \times 10^7$  sel/mL. Kepadatan

sel kelompok 20 menit mencapai puncak pada hari ke-20, sebesar  $9,20 \times 10^7$  sel/mL dan fase stasioner pada hari ke-24 dengan kepadatan  $8,55 \times 10^7$  sel/mL. Kepadatan sel kelompok 30 menit mencapai puncak pada hari ke-11, sebesar  $7,22 \times 10^7$  sel/mL dan pada fase stasioner pada hari ke-14 sebesar  $6,2910^7$  sel/mL.

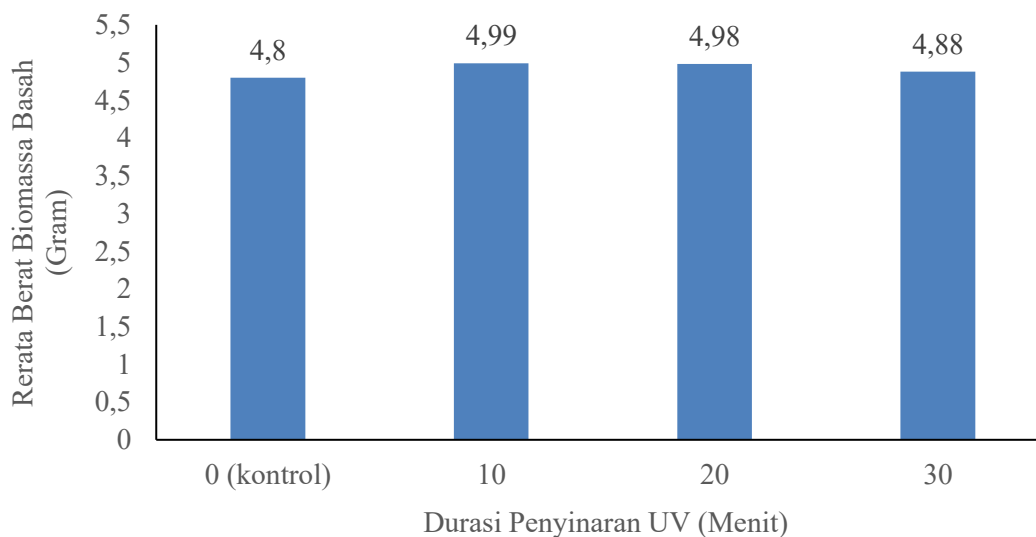
Laju pertumbuhan spesifik *Nannochloropsis* sp. paling tinggi didapatkan pada kelompok perlakuan kontrol dan terendah pada kelompok UV 20 menit ( $0,37$  sel/mL/hari) dan 10 menit ( $0,38$  sel/mL/hari). Laju pertumbuhan spesifik *Nannochloropsis* sp. pada kelompok UV 30 menit lebih rendah daripada kelompok kontrol. Hal ini terjadi karena sel *Nannochloropsis* sp. tidak cukup kuat jika diberi penyinaran UV selama 30 menit setiap harinya selama masa kultivasi. Cahaya (terutama sinar UV) yang diberikan terlalu lama dapat memicu *photoinhibition* yang menyebabkan menurunnya kemampuan dan daya tahan sel untuk bertahan hidup pada kondisi kultur tersebut (Felten *et al.*, 2015). Penyinaran cahaya UV dapat merangsang sel *Nannochloropsis* sp. dalam perkembangbiakkan sel untuk mempercepat laju pertumbuhannya sehingga waktu kultivasi menjadi lebih singkat (14 hari) dibandingkan dengan kultur kelompok perlakuan UV 10 menit dan 20 menit (24 hari).



Gambar 1. Pola Kepadatan Sel *Nannochloropsis* sp.



**Gambar 2.** Laju Pertumbuhan Spesifik *Nannochloropsis* sp.



**Gambar 3.** Rerata Berat Biomassa Basah *Nannochloropsis* sp.

Berdasarkan grafik biomassa basah *Nannochloropsis* sp. pada Gambar 3, terlihat bahwa pada kultur kelompok perlakuan UV 10 menit diperoleh hasil tertinggi mencapai 4,99 g dan hasil terendah pada kelompok kontrol sebesar 4,80 g. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian sinar UV dapat meningkatkan biomassa basah dibandingkan tanpa perlakuan sinar UV (kontrol). Biomassa basah yang dihasilkan juga sebanding dengan data kepadatan sel yang diperoleh. Pemberian sinar UV sebagai perangsang

yang baik dalam peningkatan pertumbuhan dan perkembangan sel. Berat biomassa basah *Nannochloropsis* sp. pada kelompok 30 menit lebih rendah dibandingkan biomassa basah pada kelompok 10 menit maupun 20 menit. Adanya rangsangan yang diberikan terlalu lama mengakibatkan *stress* berupa penurunan pertumbuhan yang lebih cepat. Pencahayaan dengan durasi yang semakin lama maupun pencahayaan tinggi yang diberikan mengakibatkan pertumbuhan sel menurun. Menurut Gururani *et al.*

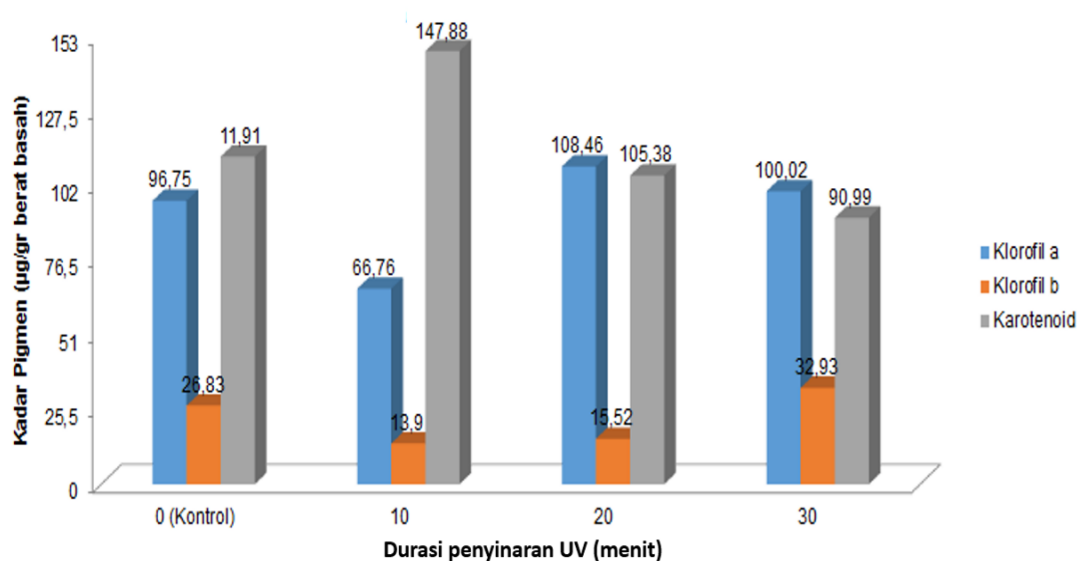
(2015), hal tersebut memicu terjadinya fiksasi karbon berlebih sehingga menjadi inhibitor yang menghambat pertumbuhan dan perkembangan sel. Zhang *et al.* (2015) juga mengungkapkan bahwa radiasi UV B dapat merusak struktur kloroplas sehingga dapat mengganggu proses fotosintesis. Dampak lainnya adalah mengganggu proses pigmentasi dan reaksi asimilasi karbon.

Rata-rata kadar pigmen yang dihasilkan dapat dilihat dalam Tabel 2. Klorofil-a tertinggi diperoleh pada kelompok perlakuan sinar UV 20 menit (108,46  $\mu\text{g/g}$  berat basah), klorofil-b tertinggi pada kelompok UV 30 menit (32,93  $\mu\text{g/g}$  berat basah), dan karotenoid tertinggi pada kelompok 10 menit (111,91  $\mu\text{g/g}$  berat basah). Penelitian ini menghasilkan produksi pigmen klorofil dan karotenoid berbeda-beda, namun tidak demikian dengan hasil analisis statistiknya. Hasil uji ANOVA *One Way* menunjukkan bahwa pemberian sinar UV dengan durasi berbeda tidak memberi pengaruh nyata ( $p \geq 0,05$ ) bagi kadar pigmen klorofil dan karotenoid *Nannchloropsis* sp. yang dihasilkan (sig klorofil-a = 0,668, klorofil-b = 0,064, karotenoid = 0,573).

Pemberian UV 20 menit dan 30 menit memiliki potensi untuk meningkatkan klorofil-a, demikian juga meningkatkan klorofil-b. Berdasarkan Suci & Heddy (2018), saat pemberian sinar UV tersebut terjadi suatu mekanisme pengaruh radiasi UV sebagai fotoenergi terhadap fotosintesis dan fotostimulan terhadap pembentukan pigmen (terutama pigmen klorofil-a

dan klorofil-b). Semakin tinggi klorofil-a yang disintesis membuat penyerapan cahaya (termasuk sinar UV) oleh klorofil semakin meningkat yang mengakibatkan eksitasi elektron. Rangkaian reaksi ini yang kemudian menggerakkan sistem fotofosforilasi pada fotosintesis (fotosistem I dan fotosistem II) (Wahyuni *et al.*, 2012). Hasil pengukuran kadar klorofil-a dan klorofil-b menurun pada perlakuan UV 10 menit serta 20 menit, namun berbanding terbalik dengan kadar karotenoid yang tinggi. Peranan karotenoid yang tinggi ini membantu klorofil-a dan klorofil-b dalam penyerapan cahaya untuk proses fotosintesis. Karotenoid akan meningkat apabila klorofil-a maupun klorofil-b tidak dapat terproduksi dengan baik (Arifah *et al.*, 2019). Karotenoid menggantikan klorofil untuk menyerap cahaya dan menyalurnya ke klorofil-a untuk digunakan dalam fotosintesis.

Terkait data kepadatan sel dan berat biomassa basah yang juga tinggi pada kelompok UV 10 menit, dikatakan bahwa adanya karotenoid yang tinggi yang dihasilkan ini berperan untuk menjaga sel dari kerusakan agar tetap dapat bertahan hidup baik pertumbuhan maupun perkembangan sel secara optimal. Kadar karotenoid semakin menurun saat diberikan paparan UV lebih lama (20 menit dan 30 menit). Hal ini didukung oleh Hu (2004), bahwa adanya pigmen-pigmen yang terbentuk sebagai turunan karotenoid berupa zeaxantin, astaxantin, dan  $\beta$ -karoten dapat digunakan *Nannochloropsis* sp.



**Gambar 4.** Kadar Pigmen pada *Nannochloropsis* sp.

sebagai pertahanan diri dari efek buruk pencahayaan UV terlalu lama. Paparan sinar UV yang semakin lama diberikan mengakibatkan rusaknya sel dan menuju kematian sehingga karotenoid tidak lagi diproduksi optimal dan kepadatan sel *Nannochloropsis* sp. semakin sedikit akibat reaksi stres dari paparan sinar UV.

## KESIMPULAN

Perbedaan durasi pemberian sinar UV B tidak memberikan pengaruh nyata ( $p \geq 0,05$ ) terhadap produksi pigmen klorofil a, klorofil b, dan karotenoid *Nannochloropsis* sp.. Klorofil a tertinggi sebesar  $108,459 \mu\text{g/g}$  berat basah pada durasi sinar UV B 20 menit, klorofil b tertinggi yaitu  $32,93 \mu\text{g/g}$  berat basah pada durasi 30 menit, dan karotenoid tertinggi sebesar  $147,879 \mu\text{g/g}$  berat basah pada durasi 10 menit. Peningkatan kandungan karotenoid relatif besar, sehingga perlakuan penyinaran UV B selama 10 menit dapat diaplikasikan untuk mengkultur *Nannochloropsis* sp. yang biomasnya memiliki keunggulan, yaitu kaya karotenoid.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifah, R. U., Sedjati, S., Supriyantini, E., & Ridlo, A. 2019. Kandungan Klorofil dan Fukosantin serta Pertumbuhan *Skeletonema costatum* pada Pemberian Spektrum Cahaya yang Berbeda. *Buletin Oseanografi Marina*, 8(1): 25-32.
- Bahua, H., Hendrawan, Y., & Yulianingsih, R. 2015. Pengaruh Pemberian Auksin Sintetik Asam Naftalena Asetat terhadap Pertumbuhan Mikroalga (*Nannochloropsis oculata*). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(2): 179-186.
- Bellinger, E.G. & Sigee, D.C. 2015. *Freshwater Algae Identification, Enumeration and Use as Bioindicators*. Wiley-Blackwell, New Delhi.
- Felten, J., Hall, H, Jaumot, J., Tauler, R., Juan, A. D., & Gorzsas, A. 2015. Vibrational Spectroscopic Image Analysis of Biological Material Using Multivariate Curve Resolution-Alternating Least Squares (MCR-ALS), *Nature Protocols*, 10(2): 217-240.
- Gururani, M. A., Venkatesh, J., & Tran, S. P. 2015. Regulation of Photosynthesis during Abiotic Stress-Induced Photoinhibition. *Molecular Plant*, 8: 1304-1320.
- Hu. 2004. Environmental Effect on Cell Composition. In: A Richmond (ed) Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Blackwell Science, Australia.
- Marthia, N. 2020. Pengaruh Jenis Media Kultur terhadap Konsentrasi Biomassa *Nannochloropsis* sp. *Pasundan Food Technology Journal*, 7(3): 97-101.
- Muchammad, A., Kardena, E., & Asmar, A. 2019. The Effect of Noni Leaves, Age Variation on The Value of Absorbance and Wavelength in Certain Color Spectrums. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 19(2): 103-116.
- Pranagari, R. A. R., Rupiasih, N. N., & Suryanto, H. 2014. Pengaruh Lama Penyinaran UV-C pada Biji Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.) terhadap Laju Pertumbuhan Tanaman, Kadar Klorofil-a dan Keraatan Stomata Daun serta Kadar Kapsaisin Buah Cabai Rawit. *Buletin Fisika*, 15(2):40-46.
- Ru'yatin, I.S., Rohyani, & Ali, L. 2015. Pertumbuhan *Tetraselmis* dan *Nannochloropsis* pada Skala Laboratorium. *Pros. Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 1(2):296-299.
- Suci, C. W. & Heddy, S. 2018. Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Keraaan Tanaman Puring (*Codiaeum variegatum*). *Jurnal Produksi Tanaman*, 6(1): 161-169.
- Wahyuni, F., Juwono, U. P., & Kusharto. 2012. Efek Spektrum Cahay Tampak terhadap Responn Beda Ptensial Listrik pada Kecambah Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) saat Fotosintesis, *Natural B*, 1(3): 207-213.
- Wahyuni, N. B., Rahardja, S., & Azhar, M.H. 2019. Pengaruh Pemberian Kombinasi Konsentrasi Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*) dengan Pupuk Walne dalam Media Kultur terhadap Laju Pertumbuhan dan Kandungan Karotenoid *Dunaliella salina*. *Journal of Aquaculture Science*, 4(1): 37-49.
- Williams, G. P., John, L., Brijithal, N. D., Namitha, L. H., & Krishnakumar. 2019. Effect of UV-β Radiation on The Growth, Pigment Production and Macromolecular Contents in Marine Microalgae. *Research Journal Pharm and Tech*, 12(2): 58-65.
- Zhang, X., Tang, X., Zhou, B., Hu, S., & Wang, Y. 2015. Effect of Enhanced UV-B Radiation on Photosynthetic Characteristics of Marine Microalgae *Dunaliella salina* (Chlorophyta, Chlorophyceae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 469: 27–35.