

Perbandingan Pertumbuhan dan Produksi Karotenoid pada Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa*

Comparison of Growth and Carotenoid Production in Microalgae Chlorella vulgaris and Chlorella pyrenoidosa

Eva Musifa*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Indonesia

Disubmit: 30 September 2025; Direview: 01 Oktober 2025; Disetujui: 27 Oktober 2025

*Corresponding Email: evamusifa@mipa.unsri.ac.id

Abstrak

Mikroalga merupakan sumber biomassa hayati yang potensial karena kemampuannya menghasilkan berbagai senyawa bioaktif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kurva pertumbuhan serta kandungan karotenoid pada mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa*, guna mengevaluasi potensi keduanya sebagai sumber karotenoid alami. Kultur mikroalga dibudidayakan dalam dua jenis medium berbeda, yaitu F/2 Guillard dan Walne. Pemantauan pertumbuhan dilakukan dengan mengukur panjang gelombang 680 nm, sementara kandungan karotenoid dianalisis secara spektrofotometri pada panjang gelombang 470, 652, dan 665 nm. Seluruh percobaan dilakukan secara triplo ($n=3$) untuk memperoleh data yang representatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua spesies memiliki pola pertumbuhan khas dengan fase logaritmik yang berbeda-beda. *C. vulgaris* menunjukkan laju pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan *C. pyrenoidosa* yakni $0,80 \pm 0,013$ g/L dan $0,43 \pm 0,002$ g/L untuk masing-masing mikroalga. Selain itu, medium F/2 Guillard terbukti lebih efektif dalam mendukung pertumbuhan mikroalga dan produksi karotenoid dikedua mikroalga yakni $0,653 \pm 0,018$ $\mu\text{g/g}$ untuk *C. vulgaris* dan $0,436 \pm 0,049$ $\mu\text{g/g}$ untuk *C. pyrenoidosa* dengan nilai sig p value $<0,05$. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan spesies serta medium kultur yang sesuai sangat berpengaruh terhadap produktivitas mikroalga.

Kata Kunci: Kurva Pertumbuhan; Karotenoid; *Chlorella vulgaris*; *Chlorella pyrenoidosa*.

Abstract

Microalgae are a potential source of biological biomass due to their ability to produce various bioactive compounds. This study aims to analyze the growth curves and carotenoid content of two microalgae *Chlorella vulgaris* and *Chlorella pyrenoidosa*, to evaluate their potential as natural carotenoid sources. Microalgae cultures were cultivated in two different types of media, namely F/2 Guillard and Walne. Growth monitoring was carried out by measuring dry biomass and cell density at a wavelength of 680 nm, while carotenoid content was analyzed spectrophotometrically at wavelengths of 470, 652, and 665 nm. All experiments were carried out in triplicate ($n = 3$) to obtain representative. The results showed that both species have distinctive growth patterns with different logarithmic phases. *C. vulgaris* showed a higher growth rate than *C. pyrenoidosa*, namely 0.80 ± 0.013 g/L and 0.43 ± 0.002 g/L for each microalga. In addition, Guillard's F/2 medium was proven to be more effective in supporting microalgae growth and carotenoid production in both microalgae strains, namely 0.653 ± 0.018 $\mu\text{g/g}$ for *C. vulgaris* and 0.436 ± 0.049 $\mu\text{g/g}$ for *C. pyrenoidosa* with a sig p value <0.05 . These findings indicate that the selection of appropriate species and culture medium greatly influences microalgae productivity.

Keywords: Growth Curve; Carotenoid; *Chlorella vulgaris*; *Chlorella pyrenoidosa*.

How to Cite: Musifa, E. (2025). Perbandingan Pertumbuhan dan Produksi Karotenoid Pada Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa*. *Journal of Natural Sciences*. 6 (3): 224-234



PENDAHULUAN

Mikrolaga telah diakui sebagai bahan alam terbarukan yang sangat potensial untuk menghasilkan senyawa bioaktif bernilai ekonomi yang tinggi (Diankristanti *et al.*, 2024). Mikroalga mampu tumbuh dengan cepat, memiliki produktivitas biomassa yang tinggi, dan dapat beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan. Sebagai sumber senyawa bioaktif, mikroalga juga dikenal mampu menghasilkan protein, lipid, polisakarida, pigmen, vitamin, asam lemak tak jenuh ganda dan antioksidan (Benedetti *et al.*, 2018). Disisi lain, kemampuan efisiensi konversi energi dan keragaman metabolit sekunder menjadikan mikroalga sangat menarik untuk berbagai aplikasi.

Permintaan global terhadap senyawa bioaktif karotenoid terus meningkat. Hal ini didorong oleh kebutuhan industri pangan, farmasi, kosmetik dan pakan ternak. Disamping itu, karotenoid berperan sebagai prekursor provitamin A yang penting untuk kesehatan mata, sistem imun dan pencegahan defisiensi vitamin A (Fiedor & Burda, 2014). *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa* dikenal sebagai mikroalga yang karotenoid dan β -karoten yang berperan sebagai antioksidan alami. Menurut penelitian, kandungan β -karoten pada *C. vulgaris* dapat mencapai 0,35% dari berat kering, dengan total karotenoid hingga 3,45 mg/g biomassa (Kandual *et al.* 2023). Berdasarkan penelitian terdahulu, dengan mengkonsumsi *C. vulgaris* terbukti meningkatkan kadar plasma lutein dan β -karoten pada manusia serta mendukung manfaat kesehatan sebagai antioksidan (Serra *et al.*, 2021).

Sama halnya dengan *C. pyrenoidosa* yang mengandung lebih dari jenis karotenoid dengan kandungan lutein sangat tinggi (125,034 $\mu\text{g/g}$), diikuti oleh isomer lutein, α -karoten, zeaxanthin dan β -karoten (trans dan cis isomer, total sekitar 4,314 $\mu\text{g/g}$) (Inbaraj & Chien, 2006). Maka dapat disimpulkan bahwa *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa* merupakan mikroalga yang memiliki kandungan karotenoid yang tinggi. Meskipun berasal dari spesies yang sama, *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa* menunjukkan perbedaan karakteristik pertumbuhan dan kandungan metabolit, sehingga analisis perbandingan keduanya sangat penting untuk menentukan spesies yang lebih unggul dalam menghasilkan senyawa target tertentu. Dari segi pertumbuhan, *C. pyrenoidosa* umumnya mencapai fase stasioner lebih cepat dibandingkan *C. vulgaris* (Johnson, 1963).

Dengan demikian, pemilihan spesies *Chlorella* untuk aplikasi tertentu sangat bergantung pada senyawa target yang diinginkan dan kondisi budidaya yang tersedia. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan komparasi laju pertumbuhan antara *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa* serta kandungan karotenoidnya. Hasil penelitian tersebut diharapkan dapat memberikan pengetahuan mengenai optimasi kondisi lingkungan yang dapat meningkatkan produksi biomasa dan metabolit bernilai tambah tinggi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Biokimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2025 sampai September 2025.

Pada Penelitian ini alat yang digunakan adalah neraca teknis, *autoclave*, pompa aquarium, selang aquarium, *petridish*, spatula, batang pengaduk, botol kaca 500 ml, peralatan gelas, botol vial, spektrofotometer UV-Vis *Thermo Scientific Genesys 20*, sonikator, oven, *autoclave*, mikroskop cahaya, neraca analitis, aluminium foil, plastik wrap, karet, plastik.

Inokulasi mikroalga *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa*

Isolat mikroalga diinokulasi dengan medium *Bold Basal Medium* (BBM) dengan perbandingan 3:2 dengan isolat mikroalganya sebagai *starter* isolat mikroalga. Medium penelitian yang digunakan adalah medium F/2 Guillard dan Walne yang kemudian distirer hingga larutan homogen dilanjutkan dengan proses *autoclave* terlebih dahulu. Mikroalga dikultur menggunakan kedua medium tersebut, kemudian ditumbuhkan selama 4 hari dengan sel inisial mencapai $\pm 0,6$ pada OD₆₈₀ (Musifa *et al.*, 2023). Seluruh percobaan dilakukan secara triplo (n=3).

Laju Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa*

Mikroalga dikultivasi dengan menggunakan medium F/2 Guillard dan Walne di botol kultur steril volume 500 mL dengan suhu 27°C (suhu ruangan laboratorium relatif), intensitas cahaya diatur pada 2500 lux ($\pm 35 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Pencahayaan dilakukan dengan siklus 24 jam/hari. Kultivasi mikrolaga diaerasi secara kontinu menggunakan *aerator* dengan laju 1L/menit dan pH kultur dijaga pada $7,5 \pm 0,2$. Kultur disampel setiap 2 hari sekali sampai fase akhir stasioner. Panjang gelombang yang digunakan dalam



mengukur *optical density* (OD) pada kultivasi mikroalga adalah 680 nm (Yatirajula *et al.*, 2019). Dari hasil laju pertumbuhan mikroalga menggunakan medium kontrol *Bold Basal Medium* didapat kurva pertumbuhan dengan persamaan regresi $Y = 0,48x + 0,02$, dengan $R^2 = 0,99$.

Penentuan Karotenoid Total

Biomassa kering sebanyak 15 µg diekstrak dengan larutan 5 mL metanol. Proses pengekstrasian dilakukan dengan cara maserasi selama 24 jam pada suhu 4°C. Pemisahan antara ekstrak dan endapan dilakukan menggunakan *sentrifuge* selama 10 menit, 3500 xg. Proses ekstraksi untuk setiap pelarut dilakukan berulang-ulang hingga larutan tidak berwarna. Masing-masing ekstrak diukur serapannya pada 470, 652, dan 665 nm dengan spektrofotometer UV-Vis. Hasil absorbansi pengukuran dihitung kandungan pigmen (klorofil a, klorofil b, dan total karotenoid) dengan rumus sebagai berikut (Pancha *et al.*, 2015).

$$\text{Klorofil a } (\mu\text{g/g}) = 16,72 A_{665} - 9,16 A_{652}$$

$$\text{Klorofil b } (\mu\text{g/g}) = 34,09 A_{652} - 15,28 A_{665}$$

$$\text{Total karotenoid } (\mu\text{g/g}) = \frac{(A_{470} + 0,114 \times A_{665} - 0,638 \times A_{652}) \times V \times 10^3}{112,5 \times 0,1 \times 10}$$

Analisis Data

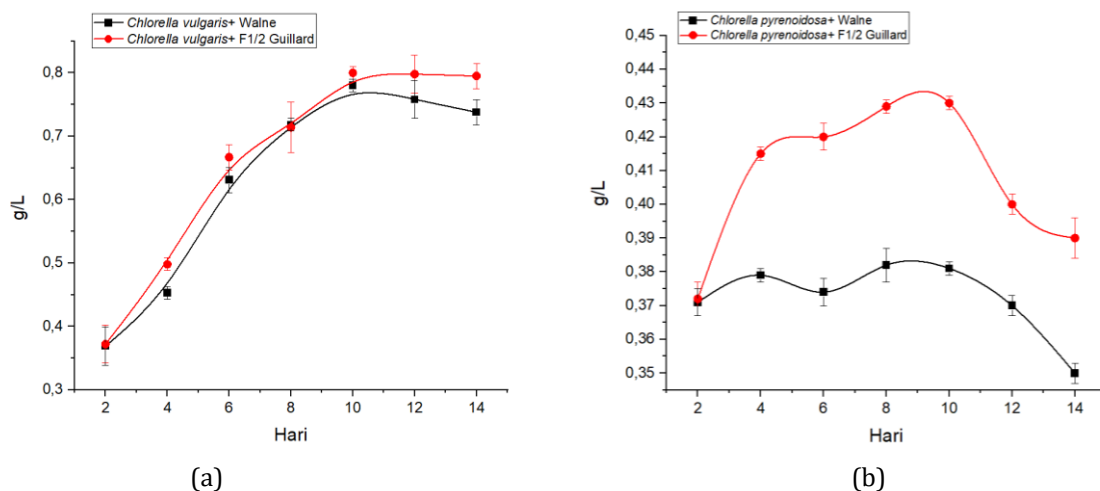
Data hasil penelitian yang berupa kandungan klorofil a, klorofil b, dan total karotenoid dianalisis statistik menggunakan aplikasi SPSS versi 27. Data terlebih dahulu dianalisis dengan test normalitas melalui *Spiro-Wilk*. Jika data memenuhi normalitas, maka analisis yang digunakan adalah *one way ANNOVA* dengan taraf kepercayaan 95%, dilakukan uji lanjut dengan uji *Post-hoc* apabila terdapat perbedaan yang nyata.

Identifikasi Mikroalga *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa*

Identifikasi dan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan melakukan *scanning* 250 µL mikroalga ditambahkan 750 µL pada panjang gelombang 650-800 nm untuk mengetahui serapan maksimum mikroalga *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa* (Yatirajula *et al.*, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mikroalga melalui fase pertumbuhan yaitu fase eksponensial, stasioner dan kematian (Zhao *et al.* 2018). Kurva pertumbuhan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Kurva pertumbuhan *C. vulgaris* dengan medium F/2 Guillard menunjukkan hasil pertumbuhan paling tinggi yakni menghasilkan biomasa sebanyak $0,80 \pm 0,013$ g/L, berbeda sedikit dengan kurva pertumbuhan *C. vulgaris* yang menggunakan medium Walne yakni menunjukkan biomasa sebesar $0,78 \pm 0,012$ g/L. Tren kenaikan pertumbuhan *C. vulgaris* menunjukkan persamaan yakni di hari ke 10 sudah mencapai nilai puncaknya dengan fase stasioner berkisar di hari 8 hingga 12. Dari awal masa pertumbuhan yakni fase eksponensial mikroalga *C. vulgaris* dengan medium F/2 Guillard sudah menunjukkan keunggulan yakni dengan selisih 0,5 g/L pada medium Walne. Sama halnya dengan penelitian dari (Yatirajula *et al.*, 2019) mengemukakan bahwa fase stasioner mikroalga *C. vulgaris* berada pada sekitar hari 8 sampai akhir 12. Sedangkan, pada masa kematian di hari ke 12 dan 14, biomasa *C. vulgaris* di medium yang berbeda menunjukkan penurunan, yakni masing-masing sebesar $0,795 \pm 0,028$ g/L dan $0,758 \pm 0,037$ g/L.

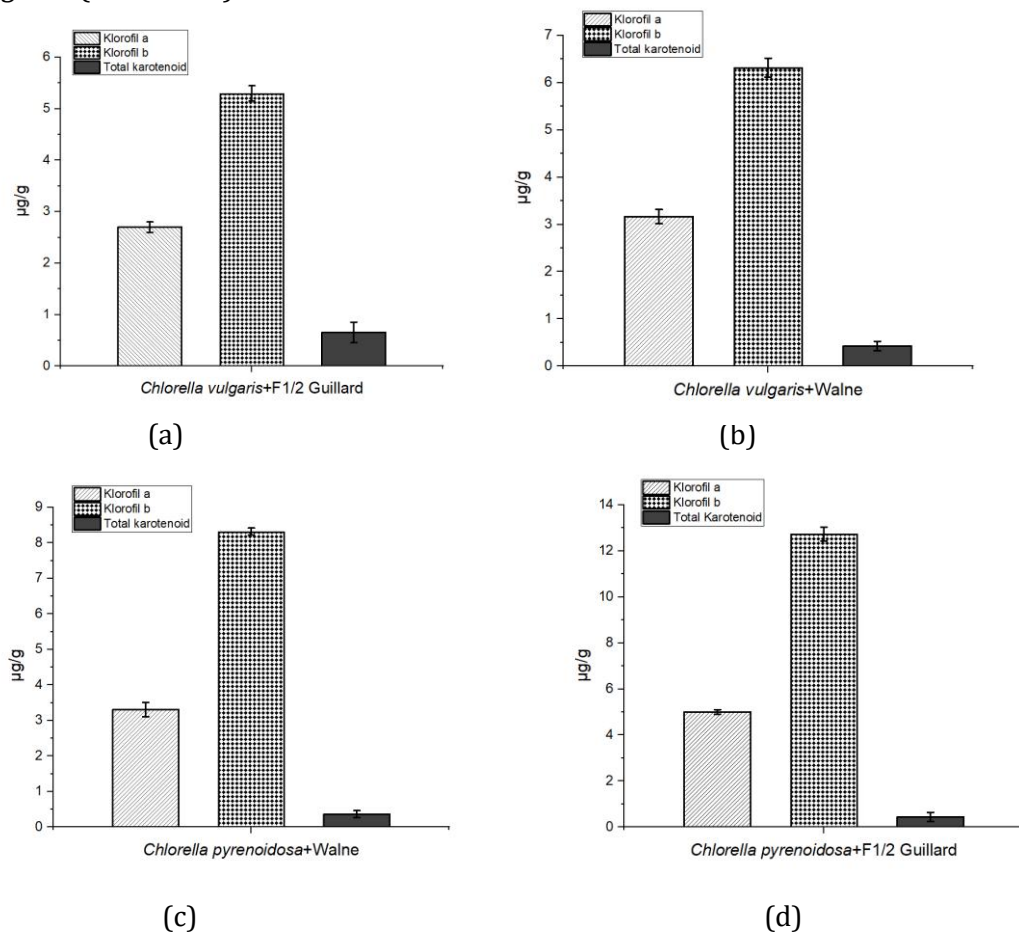


Gambar 1. (a) Kurva Pertumbuhan *C. vulgaris* (b) Kurva Pertumbuhan *C. pyrenoidosa*

Selanjutnya, kurva pertumbuhan *C. pyrenoidosa* dengan medium F/2 Guillard yang ditunjukkan pada Gambar 1.b menjelaskan bahwa hasil yang sama menempati pertumbuhan paling tinggi dengan menghasilkan biomasa sebanyak $0,43 \pm 0,002$ g/L. Pada kurva pertumbuhan *C. pyrenoidosa* yang menggunakan medium Walne menunjukkan biomasa di bawah kurva biomasa medium F/2 Guillard yakni sebesar $0,37 \pm 0,003$ g/L. Pada fase eksponensial berlanjut pada hari ke 4 hingga ke 6 yang didapat $0,415 \pm 0,002$ g/L dan $0,42 \pm 0,004$ g/L pada hari ke 4 untuk masing-masing medium F/2



Guillard dan Walne. Sama halnya dengan penelitian (Musa *et al.*, 2021), fase eksponensial berada pada hari ke 2 sampai ke 5. Pada masa kematian di hari ke 12 dan 14, biomasa *C. pyrenoidosa* di medium F/2 Guillard dan Walne menunjukkan penurunan, yakni masing-masing sebesar $0,39 \pm 0,006$ g/L dan $0,35 \pm 0,003$ g/L. Penurunan biomasa ini terjadi karena nutrisi utama (karbon, nitrogen dan fosfor) sudah mulai habis, sel tidak dapat mempertahankan metabolisme, akumulasi produk toksik dan aktivitas mikroba destruktif juga ikut mempengaruhi kematian sel massal (Schnecker *et al.*, 2024). Berikut ini perbedaan hasil uji klorofil a, b dan total karotenoid yang diperoleh dari *C. pyrenoidosa* dan *C. vulgaris* (Gambar 2).



Gambar 2. Kandungan klorofil a, klorofil b dan total ketetonoid pada (a) *Chlorella vulgaris*+medium F/2+Guillard (b) *C. vulgaris*+medium Walne (c) *C. pyrenoidosa*+medium F/2 Guillard (d) *C. pyrenoidosa*+medium Walne

Dari hasil data diatas didapat bahwa kandungan total karotenoid pada *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa* yang menggunakan medium F/2 Guillard menunjukkan hasil yang maksimal yakni $0,653 \pm 0,018$ µg/g dan $0,436 \pm 0,008$ µg/g. Sedangkan ketika menggunakan medium Walne kandungan kedua mikroalga tersebut menunjukkan total karotenoid $0,425 \pm 0,006$ µg/g dan $0,036 \pm 0,049$ µg/g. *C. vulgaris* memiliki karotenoid yang

lebih tinggi karena mampu mengoptimalkan efisiensi fotosintesis pada medium F/2 Guillard. Peningkatan ukuran dan jumlah aparatus fotosintetik dari mikroalga dengan medium yang tepat mengakibatkan laju fotosintesis dan produksi karotenoid menjadi lebih tinggi. Penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa *C. vulgaris* memiliki total karotenoid yang paling tinggi (25.5958 g/mL) (Haslianti *et al.*, 2023)

Untuk total klorofil a pada medium Walne mikroalga *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa* mendapatkan hasil $3,165 \pm 0,160$ µg/g dan $3,306 \pm 0,175$ µg/g. Menariknya, total klorofil b pada *C. pyrenoidosa* menunjukkan nilai yang sangat maksimal yakni $12,737 \pm 0,143$ µg/g pada medium F/2 Guillard. Jadi dapat disimpulkan bahwa total karotenoid mikroalga *C. vulgaris* lebih tinggi dibandingkan dengan *C. pyrenoidosa*, namun total klorofil a dan b pada *C. pyrenoidosa* menunjukan total yang lebih besar. Dari semua data mikroalga, medium F/2 Guillard menunjukkan hasil yang baik dalam memaksimalkan total karotenoid dibandingkan dengan medium Walne. Hal ini dikarenakan medium F/2 Guillard mengandung makronutrien (nitrogen, fosfor, silikat), mikronutrien, dan vitamin yang mendukung pertumbuhan optimal serta produksi klorofil, karotenoid dan senyawa bioaktif lainnya (Ganga *et al* 2022). Selanjutnya, penelitian (Kumar *et al* 2018) mengemukakan bahwa F/2 Guillard terbukti menghasilkan pertumbuhan sel, biomassa dan densitas sel tertinggi dibandingkan media lain seperti BBM, BG-11 dan Walne pada berbagai spesies mikroalga laut seperti *Nannochloropsis salina* dan *Picochlorum* sp. Namun, penelitian ini terbatas pada waktu kultur yang terbatas dan belum diketahui dinamika pada fase stasioner. Selain itu, analisis klorofil a, b dan total karotenoid dengan spektrofotometri dan tidak ada pemisahan jenis karotenoid (β-karoten, lutein, astaxanthin).

Selanjutnya dilakukan uji statistik untuk mengetahui apakah ada perbedaan pada masing-masing uji klorofil a, klorofil b dan total karotenoid pada *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa*. Hasil uji normalitas yang digunakan adalah yang tertera dalam Table 1 pada uji *Shapiro-Wilk*.

Tabel 1. Tes Normalitas

	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
Klorofil a	.849	4	.222
Klorofil b	.911	4	.488
Karotenoid	.888	4	.372

Hasil ketiga uji yakni klorofil a, klorofil b dan total karotenoid menunjukkan nilai signifikansi $> 0,05$. Artinya data terdistribusi normal sehingga data bisa dilanjutkan pada uji *one way* ANOVA. Berikut ini hasil uji *one way* ANOVA pada data diatas adalah sebagai berikut:

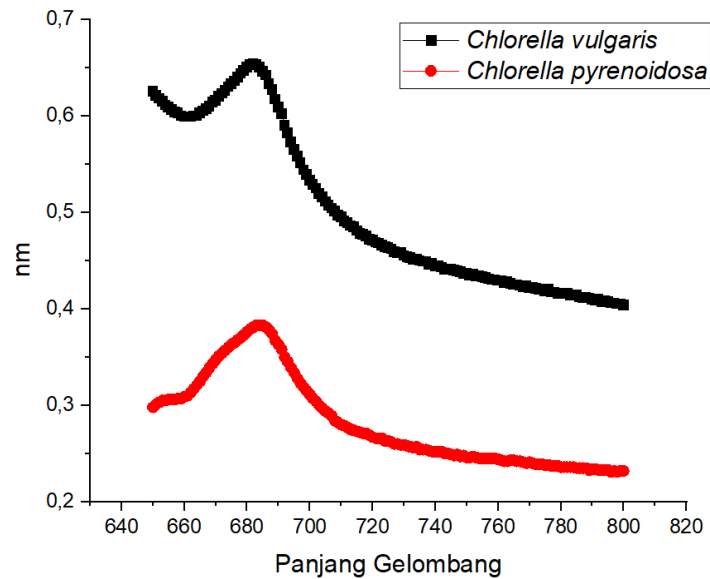
Tabel 2. Uji ANOVA

		F	Sig.
Klorofil a	Antar Uji	.101	.957
Klorofil b	Antar Uji	.789	.533
Karotenoid	Antar Uji	259.679	<,001

Tabel 2 menunjukkan hasil uji *one way* ANOVA yang diperoleh yaitu nilai sig p *value* 0,97 untuk klorofil a, klorofil b diperoleh sig p *value* $> 0,05$. Artinya tidak ada perbedaan yang signifikan antar uji klorofil a dan klorofil b pada perlakuan *C. vulgaris*+medium F/2 Guillard, *C. vulgaris*+medium Walne, *C. pyrenoidosa*+medium F/2 Guillard dan *C. pyrenoidosa*+medium Walne. Sedangkan untuk data total karotenoid antar perlakuan memiliki nilai signifikansi p *value* $< 0,05$. Hal tersebut menandakan bahwa keempat sampel total karotenoid pada perlakuan *C. vulgaris*+medium F/2 Guillard, *C. vulgaris*+medium Walne, *C. pyrenoidosa*+medium F/2 Guillard dan *C. pyrenoidosa*+medium Walne memiliki perbedaan yang signifikan sehingga akan dilanjutkan pada uji *Post-Hoc* dengan *Games-Howel*. Hasil yang didapat pada uji *Post-Hoc* didapat bahwa nilai sig p *value* pada kelompok 1 dibandingkan kelompok 2 dan 4 memiliki nilai sig p *value* $< 0,05$ yang berarti terdapat perbedaan yang nyata antar kelompok tersebut.

Karakterisasi profil Klorofil pada mikroalga dengan Spektrofotometer Uv-Vis

Identifikasi dan karakterisasi mikrolaga *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa* menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis dilakukan dengan cara mengukur sampel dengan panjang gelombang 600-800 nm (Yatirajula *et al.*, 2019).



Gambar 3. Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis pada mikrolaga *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa*

Mikroalga *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa* menunjukkan serapan pada panjang gelombang 680 nm sebagai serapan maksimum. Karakterisasi profil kedua mikroalga menggunakan spektrofotometer Uv-Vis dapat dilihat pada gambar 3. Berdasarkan hasil *scanning*, panjang gelombang kromofor didapat dengan panjang gelombang 682 dan 683 nm yang menunjukkan serapan maksimum dari *C. vulgaris* dan *C. pyrenoidosa*. Hal ini senada dengan hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa *C. pyrenoidosa* memiliki serapan maksimum dan aktivitas fotosintesis yang tinggi pada kisaran panjang gelombang di atas 680 nm, khususnya pada 682–683 nm, yang merupakan ciri khas klorofil a (G. Öquist, 1969).

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa medium F/2 Guillard lebih efektif dibandingkan medium Walne dalam meningkatkan laju pertumbuhan dan kandungan karotenoid pada *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa* (p value $< 0,05$). *C. vulgaris* menghasilkan karotenoid lebih tinggi di medium tersebut meskipun kandungan klorofil a dan b tidak menunjukkan peningkatan signifikan (p value $> 0,05$). Temuan ini memberikan kontribusi baru dengan mengidentifikasi medium F/2 Guillard sebagai pilihan optimal untuk budidaya kedua mikroalga tersebut guna produksi biomassa dan metabolit bernilai tinggi, terutama karotenoid, yang berpotensi diaplikasikan dalam industri farmasi, dan kosmetik. Namun, keterbatasan penelitian terletak pada metode analisis yang hanya



menggunakan spektrofotometri tanpa pemisahan jenis karotenoid secara spesifik melalui *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC), sehingga penelitian lanjutan diperlukan untuk karakterisasi lebih mendalam terhadap profil karotenoid yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Benedetti, M., Vecchi, V., Barera, S., & Dall'Osto, L. (2018). Biomass from microalgae: The potential of domestication towards sustainable biofactories. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-1019-3>
- Diankristanti, P. A., Hei Ernest Ho, N., Chen, J. H., Nagarajan, D., Chen, C. Y., Hsieh, Y. M., Ng, I. S., & Chang, J. S. (2024). Unlocking the potential of microalgae as sustainable bioresources from up to downstream processing: A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 488, 151124. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.151124>
- Fiedor, J., & Burda, K. (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*, 6(2), 466–488. <https://doi.org/10.3390/nu6020466>
- G. Öquist. (1969). Adaptations in Pigment Composition and Photosynthesis by Far Red Radiation in *Chlorella pyrenoidosa*. *Physiologia Plantarum*.
- Ganga, R. S., Anandan, R., & Joseph, A. (2022). Variations in lipid profile of of the marine microalga *Nannochloropsis salina* in four different culture media. *Indian Journal of Fisheries*, 69(3), 82–90. <https://doi.org/10.21077/ijf.2022.69.3.104044-10>
- Haslianti, Sahidin, Asnani, & Fristiody, A. (2023). Growth, biomass, and carotenoids content analysis of *Navicula sp.* and *Chlorella sp.* in batch cultures with different salinities. *Biodiversitas*, 24(8), 4299–4306.
- Inbaraj, B. S., & Chien, J.T., B. H. C. (2006). Improved high performance liquid chromatographic method for determination of carotenoids in the microalga *Chlorella pyrenoidosa*. *Elsevier Journal of Chromatography A*, 1102(1–2, 13), 193–199.
- Johnson, R. P. · E. (1963). Production of Protein and Lipid by *Chlorella vulgaris* and *Chlorella pyrenoidosa*. *Journal of Pharmaceutical Science*, 52(10), 979–984.
- Musa, M., Arsad, S., Sari, L. A., Lusiana, E. D., Kasitowati, R. D., Yulinda, E. N., Nadhira, T., & Cahyani, D. (2021). Does Tofu Wastewater Conversions Nutrient Increase the Content of the *Chlorella pyrenoidosa*. *Journal of Ecological Engineering*, 22(2), 70–76.
- Musifa, E., Kusnanda, A. J., Dharma, A., Sciences, N., Andalas, U., & Limau, K. (2023). Monosodium Glutamate (MSG) as Metabolic Stressors Stimulate the Production of Valuable Compounds in *Spirulina platensis*. 27(2), 731–743.
- Pancha, I., Chokshi, K., Maurya, R., Trivedi, K., Patidar, S. K., Ghosh, A., & Mishra, S. (2015). Salinity induced oxidative stress enhanced biofuel production potential of microalgae *Scenedesmus sp.* CCNM 1077. *Bioresource Technology*, 189, 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.017>
- Khandual, S., Santiago-Matei, H., Maldonado-Ortiz, A.J., Bonilla-Ahumada, F.J., and Kumar, J.S. (2023). Flocculation and Cell Rupture in *C. vulgaris*. *Annals of Agricultural & Crop Sciences*, 8(3), 1–6. <https://doi.org/10.26420/annagricropsci.2023.1135>
- Schnecker, J., Böckle, T., Horak, J., Martin, V., Sandén, T., & Spiegel, H. (2024). Improving measurements of microbial growth, death, and turnover by accounting for extracellular DNA in soils. *Soil*, 10(2), 521–531. <https://doi.org/10.5194/soil-10-521-2024>
- Serra, A. T., Silva, S. D., Pleno de Gouveia, L., Alexandre, A. M. R. C., Pereira, C. V., Pereira, A. B., Partidário, A. C., Silva, N. E., Bohn, T., Gonçalves, V. S. S., Real, G., Escudero, P., Fernández, N., Matias, A. A., & Bronze, M. R. (2021). A single dose of marine *Chlorella vulgaris* increases plasma concentrations of lutein, β -carotene and zeaxanthin in healthy male volunteers. *Antioxidants*, 10(8), 1–11. <https://doi.org/10.3390/antiox10081164>
- Shyam Kumar. (n.d.). Optimization and Effect of Culture Medium and Concentration on the Growth and Biochemical Composition of Marine Microalga-*Nannochloropsis salina*. 2018.
- Yatirajula, S. K., Shrivastava, A., Saxena, V. K., & Kodavaty, J. (2019). Flow behavior analysis of *Chlorella Vulgaris* microalgal biomass. *Heliyon*, 5(6), e01845.

Zhao, J. M., Ma, C. Y., & Liu, L. H. (2018). Temporal scaling of the growth dependent optical properties of microalgae. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 214, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.04.024>.

