

**PENGARUH INTENSITAS LAMPU LED MERAH TERHADAP
PERTUMBUHAN, PRODUKSI PIGMEN, DAN LIPID PADA
MIKROALGA *Chlorella vulgaris***

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia*



Disusun oleh:
Melinda Nurpratiwi
2000198

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU
PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG
2024**

LEMBAR HAK CIPTA

**PENGARUH INTENSITAS LAMPU LED MERAH TERHADAP
PERTUMBUHAN, PRODUKSI PIGMEN, DAN LIPID PADA
MIKROALGA *Chlorella vulgaris***

**Oleh
MELINDA NURPRATIWI
2000198**

**Sebuah Skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia Fakultas
Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

©Melinda Nurpratiwi
Universitas Pendidikan Indonesia
Agustus 2024

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak
ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH INTENSITAS LAMPU LED MERAH TERHADAP
PERTUMBUHAN, PRODUKSI PIGMEN, DAN LIPID PADA
MIKROALGA *Chlorella vulgaris***

Oleh

Melinda Nurpratiwi

NIM 2000198

Disetujui dan disahkan oleh

Pembimbing I,



Dr. Heli Siti Halimatul M., M.Si.

NIP. 197907302001122002

Pembimbing II,



Gun Gun Gumilar, M. Si.

NIP. 197906262001121001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia



Prof. Fitri Khoerunnisa, Ph.D.

NIP. 197806282001122001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“Pengaruh Intensitas Lampu LED Merah Terhadap Pertumbuhan, Produksi Pigmen, dan Lipid Pada Mikroalga *Chlorella vulgaris*”** ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku di masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya sanggup menanggung resiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini

Bandung, Agustus 2024
Yang membuat pernyataan

Melinda Nurpratiwi
NIM 2000198

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Intensitas Lampu LED Merah Terhadap Pertumbuhan, Produksi Pigmen, dan Lipid Pada Mikroalga *Chlorella vulgaris*”** untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan derajat sarjana kimia (S.Si.) pada program studi Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna baik dalam segi penulisan maupun materi. Oleh sebab itu, penulis berharap adanya kritik dan saran untuk perbaikan di waktu mendatang. Semoga skripsi ini dapat menambah wawasan serta memberikan manfaat bagi penulis dan umumnya bagi para pembaca.

Bandung, Agustus 2024

Penulis,

Melinda Nurpratiwi

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. Karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam melakukan penelitian dan penyusunan skripsi ini penulis banyak menerima bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa masih banyak keterbatasan dan tidak lepas dari bantuan, maka dari itu penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis, terutama kepada:

1. Orang tua tercinta Bapak Rusmani dan Ibu Susi Yanti yang senantiasa memberi dukungan moril dan materil, mendoakan setiap harinya, serta nasihat untuk penulis.
2. Ibu Dr. Heli Siti Halimatul Munawaroh, M.Si. selaku pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, dan masukan yang sangat bermanfaat selama penelitian dan penyusunan skripsi.
3. Bapak Gun Gun Gumilar M.Si. selaku pembimbing II dan Ketua KBK Hayati yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, dan masukan yang sangat bermanfaat selama penelitian dan penyusunan skripsi.
4. Ibu Fitri Khoerunnisa, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Kimia.
5. Ibu Dr. Siti Aisyah, M.Si selaku Kepala Laboratorium Riset.
6. Bapak dan ibu dosen, laboran, serta seluruh staf Departemen Pendidikan Kimia FPMIPA UPI yang telah memberi ilmu yang bermanfaat dan membantu penulis dalam melakukan penelitian.
7. Kakak-kakak tingkat penulis dari tim mikroalga sebelumnya yang telah memberikan arahan penelitian tentang mikroalga dan lainnya.
8. Septian Nurpratama dan Muchammad Nurfachrizal selaku kakak yang memberikan motivasi serta dukungan moril dan materil kepada penulis.
9. R. Namira Atha Nissa, Alya Nurhidayati, Mutiara Amelia Sabrina, dan Shafwa Faza selaku teman satu bimbingan.
10. Maheswari Madina Regar selaku sahabat terbaik penulis yang telah menemani proses, suka dan duka, serta dukungan moril ataupun materil kepada penulis dalam melakukan penelitian dan penyusunan skripsi ini.

11. Kayla Putri Arvina, Christian Hadi Simbolon, dan Adelia Tsabita selaku sahabat terbaik penulis yang telah menemani perjuangan selama masa perkuliahan meskipun terhalang oleh jarak serta dukungan moril atau materil yang diberikan
12. Haifa Fadhila, Salsabila Fitri Pratami, dan R. Khairana Khadra selaku rekan serta sahabat carat yang telah menemani suka dan duka penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium.
13. Kak Wulan, Kak Gita, Kak Thifa, dan Kak Bisri selaku rekan atau pembimbing saat magang di PT. Biofarma yang ikut serta membantu penulis dalam penelitian.
14. Teman-teman seperjuangan Kimia 2020D, KBK Kimia Hayati, serta seluruh rekan Kimia 2020.
15. Seluruh pihak yang telah membantu penulis yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga seluruh amal baik yang telah diberikan akan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.

Bandung, Agustus 2024

Penulis,

Melinda Nurpratiwi

ABSTRAK

Chlorella vulgaris merupakan salah satu sumber penghasil senyawa-senyawa bernilai tinggi dengan komposisi biomassa yang potensial penggunaannya dalam pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs). Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kandungan dan komposisi biomassa adalah cahaya yang merupakan parameter penting dalam mekanisme fotosintesis mikroalga. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh intensitas lampu LED merah terhadap pertumbuhan, produksi pigmen, dan lipid dari *Chlorella vulgaris*. Proses kultivasi dilakukan selama 9 hari dengan sumber pencahayaan lampu LED merah dengan variasi intensitas untuk melihat laju pertumbuhan dari *Chlorella vulgaris*. Perlakuan yang diberikan terhadap mikroalga adalah dengan pencahayaan di bawah lampu LED merah dengan variasi intensitas, diantaranya adalah 359 lux, 751 lux, dan 1.110 lux. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan *Chlorella vulgaris* ($p < 0,05$). Produksi pigmen klorofil a diperoleh pada perlakuan dengan intensitas terendah (359 lux) mencapai $4,17 \pm 0,093 \mu\text{g/mL}$, sedangkan klorofil b dan total karotenoid diperoleh pada perlakuan dengan intensitas sedang (751 lux) yang secara berturut-turut mencapai $1,21 \pm 0,3 \mu\text{g/mL}$ dan $1,60 \pm 0,15 \mu\text{g/mL}$. Intensitas terendah (359 lux) juga menghasilkan produksi lipid tertinggi dengan rerata akumulasi mencapai 12,5% dan menurun seiring dengan penurunan intensitas. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas dapat dijadikan sebagai salah satu strategi dalam meningkatkan produksi senyawa fungsional yang ditargetkan.

Kata kunci: *Chlorella vulgaris*, Pigmen, Kadar lipid, Intensitas Cahaya, Spektrum Merah

ABSTRACT

Chlorella vulgaris is one of the sources of high-value compounds with biomass composition that has the potential to be used in achieving Sustainable Development Goals (SDGs). One of the factors that can affect the content and composition of biomass is light which is an important parameter in the mechanism of photosynthesis of microalgae. This study aims to determine the effect of red LED light intensity on the growth, pigment production, and lipids of *Chlorella vulgaris*. The cultivation process was carried out for 9 days with a red LED lighting source with variations in intensity to see the growth rate of *Chlorella vulgaris*. The treatment given to microalgae is by lighting under red LED lights with variations in intensity, including 359 lux, 751 lux, and 1,110 lux. The results showed that the intensity significantly affect the growth of *Chlorella vulgaris*. Chlorophyll a pigment production was obtained in the treatment with the lowest intensity (359 lux) reaching $4.17 \pm 0.093 \mu\text{g/mL}$, while chlorophyll b and total carotenoids were obtained in the treatment with medium intensity (751 lux) which respectively reached $1.21 \pm 0.3 \mu\text{g/mL}$ and $1.60 \pm 0.15 \mu\text{g/mL}$. The lowest intensity (359 lux) also produced the highest lipid production with an average accumulation of 12.5% and decreased with decreasing intensity. This shows that intensity can be used as one of the strategies in increasing the production of targeted functional compounds.

Keywords: *Chlorella vulgaris*, Pigment, Lipid Content, Light Intensity, Red Spectrum

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. <i>Chlorella vulgaris</i>	4
2.1.1. Karakteristik	5
2.1.2. Kandungan Nutrisi <i>Chlorella</i> sp.	6
2.2. Sistem Respon Cahaya	7
2.3. Kondisi Kultur Mikroalga	8
2.4. Fase Pertumbuhan Mikroalga	8
2.4.1. Fase Adaptasi (<i>Lag phase</i>).....	9
2.4.2. Fase Eksponensial (<i>Log phase</i>).....	9
2.4.3. Fase Penurunan Pertumbuhan (<i>Declining growth phase</i>)	9
2.4.4. Fase Stasioner (<i>Stasionary phase</i>)	10
2.4.5. Fase Kematian (<i>Death phase</i>).....	10
2.4. Fotosintesis.....	11
2.4.1. Reaksi Terang (<i>Light-Depent Reaction</i>)	12
2.4.2. Reaksi Gelap (<i>Calvin Cycle</i>)	13
2.5. Pigmen Pada Mikroalga	14
2.5.1. Klorofil.....	14
2.5.2. Karotenoid	15

2.6. Biosintesis Lipid dan Asam Lemak Pada Mikroalga.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian.....	22
3.2. Alat dan Bahan.....	22
3.2.1. Alat	22
3.2.2. Bahan	22
3.3. Prosedur Penelitian.....	24
3.4. Eksperimen.....	24
3.4.1. Kultivasi.....	24
3.4.2. Analisis Kurva Pertumbuhan	25
3.4.3. Total Biomassa	25
3.4.4. Total Karbohidrat.....	26
3.4.5. Ekstraksi Pigmen dan Kuantifikasi.....	26
3.4.6. Total Lipid dan Profil Asam Lemak	27
3.4.7. Analisis Statistika.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i>	29
4.2. Kultivasi <i>Chlorella vulgaris</i>	29
4.3. Kurva Pertumbuhan.....	30
4.4. Pengaruh Intensitas Terhadap Total Biomassa	32
4.5. Produksi Pigmen dan Komposisi Biokimia	33
4.5.1. Total Karbohidrat Pada Biomassa <i>Chlorella vulgaris</i>	33
4.5.2. Produksi Pigmen Klorofil dan Total Karotenoid.....	35
4.5.3. Total Lipid dan Profil Asam Lemak	37
BAB V KESIMPULAN	42
5.1. Kesimpulan.....	42
5.2. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Morfologi Chlorella vulgaris Perbesaran 100 x	5
Gambar 2.2. Skema Chlorella vulgaris Yang Mewakili Berbagai Organel	6
Gambar 2.3. Gambaran Umum Proses Fotosintesis dan Respirasi Sel	7
Gambar 2.4. Kurva Pertumbuhan Chlorella vulgaris Berdasarkan OD 680 nm (Adochite & Andronic, 2021)	10
Gambar 2.5. Reaksi Terang Fotosintesis (sumber: forbiologi.blogspot.com)	13
Gambar 2.6. Siklus Kelvin pada Reaksi Gelap	14
Gambar 2.7. Struktur Kimia Klorofil (Mandal & Dutta, 2020).....	15
Gambar 2.8. Jalur Biosintesis Karotenoid Pada Alga (warna kotak menunjukkan kenampakan warna karotenoid tersebut) (Merdekawati et al., 2017)	16
Gambar 2.9. Gambaran Umum Seluruh Mekanisme Fotosintesis dan Biosintesis Asam Lemak.....	18
Gambar 2.10. Skema Biosintesis Lipid pada Chlorella vulgaris 211/11P Dengan Perlakuan Rendah dan Tingginya Intensitas Cahaya Menggunakan Lampu Putih (Cecchin et al., 2019).....	19
Gambar 2.11. Biosintesis Asam Lemak	20
Gambar 3.1 Skema Alur Penelitian.....	24
Gambar 3.2. Desain Kultivasi Chlorella vulgaris (a) desain kontrol (LP;1.110 lux) (b) desain 359 lux (c) desain 751 lux (d) desain 1.110 lux.....	25
Gambar 4.1. Morfologi Chlorella vulgaris (40x).....	29
Gambar 4.2. Kurva Pertumbuhan Chlorella vulgaris.....	31
Gambar 4.3. Siklus Kelvin (Reaksi Gelap Pada Fotosintesis)	35
(sumber: www.sciencefacts.net).....	35

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Kandungan Nutrisi Makro pada Chlorella sp.....	7
Tabel 3.1. Komposisi media F/2 Guillard	22
Tabel 4.1. Intensitas Cahaya Terhadap Nilai Optical Density 680 nm	32
Tabel 4.2. Intensitas Cahaya Terhadap Total Biomassa (%)	32
Tabel 4.3. Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Total Karbohidrat.....	34
Tabel 4.4. Intensitas Cahaya Terhadap Pigmen Klorofil a.....	35
Tabel 4.5. Intensitas Cahaya Terhadap Total Lipid (%)	37
Tabel 4.6. Perbandingan Komposisi Asam Lemak Chlorella vulgaris	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Kegiatan Penelitian	48
Lampiran 2. Biosintesis Klorofil.....	54
Lampiran 3. Data Kurva Pertumbuhan	56
Lampiran 4. Data Total Biomassa.....	58
Lampiran 5. Data Total Karbohidrat	58
Lampiran 6. Data Produksi Pigmen.....	61
Lampiran 7. Data Total Lipid dan Profil Asam Lemak.....	62
Lampiran 8. Data Statistik Two Way Anova dan One Way Anova.....	64

DAFTAR PUSTAKA

- Adochite, C., & Andronic, L. (2021). Toxicity of a binary mixture of tio₂ and imidacloprid applied to chlorella vulgaris. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(15). <https://doi.org/10.3390/ijerph18157785>
- Agus Salim, M. (2015). KADAR LIPIDA Scenedesmus sp PADA KONDISI MIKSOTROF. *Jurnal UIN Sunan Gunung Djati*, IX(2), 222–243.
- Blair, M. F., Kokabian, B., & Gude, V. G. (2014). Light and growth medium effect on Chlorella vulgaris biomass production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 665–674. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.11.005>
- Cecchin, M., Marcolungo, L., Rossato, M., Girolomoni, L., Cosentino, E., Cuine, S., Li-Beisson, Y., Delledonne, M., & Ballottari, M. (2019). Chlorella vulgaris genome assembly and annotation reveals the molecular basis for metabolic acclimation to high light conditions. *Plant Journal*, 100(6), 1289–1305. <https://doi.org/10.1111/tpj.14508>
- Daliry, S., Hallajisani, A., Mohammadi Roshandeh, J., Nouri, H., & Golzary, A. (2017). Investigation of optimal condition for Chlorella vulgaris microalgae growth. In *Global Journal of Environmental Science and Management* (Vol. 3, Issue 2, pp. 217–230). Iran Solid Waste Association. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2017.03.02.010>
- El-fayoumy, E. A., Ali, H. E. A., Elsaid, K., Elkhatat, A., Al-Meer, S., Rozaini, M. Z. H., & Abdullah, M. A. (2023). Co-production of high density biomass and high-value compounds via two-stage cultivation of Chlorella vulgaris using light intensity and a combination of salt stressors. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04442-z>
- Fakhri, M., Arifin, N. B., Hariati, A. M., & Yuniarti, A. (2017). Growth, biomass, and chlorophyll-a and carotenoid content of Nannochloropsis sp. strain BJ17 under different light intensities. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 16(1), 15. <https://doi.org/10.19027/jai.16.1.15-21>
- Grudzinski, W., Krzeminska, I., Luchowski, R., Nosalewicz, A., & Gruszecki, W. I. (2016). Strong-light-induced yellowing of green microalgae Chlorella: A study on molecular mechanisms of the acclimation response. *Algal Research*, 16, 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.03.021>
- Gruszecki, W. I., & Strzałka, K. (2005). Carotenoids as modulators of lipid membrane physical properties. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease*, 1740(2), 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2004.11.015>

- Guerrero, F., Carbonell, V., Cossu, M., Correddu, D., & Jones, P. R. (2012). Ethylene Synthesis and Regulated Expression of Recombinant Protein in *Synechocystis* sp. PCC 6803. *PLoS ONE*, 7(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050470>
- Hadiyanto, O. :, & Azim, M. (2016). *MIKROALGA Edisi Pertama*.
- Hutabarat, P. A. (2019). *UJI KEMAMPUAN KONSORSIUM ALGA Chlorella vulgaris DAN Spirulina platensis UNTUK MEREMOVAL LOGAM BERAT KADMIUM (II)*.
- Khalili, A., Najafpour, G. D., Amini, G., & Samkhaniyani, F. (2015). Influence of nutrients and LED light intensities on biomass production of microalgae *Chlorella vulgaris*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 20(2), 284–290. <https://doi.org/10.1007/s12257-013-0845-8>
- Klok, A. J., Lamers, P. P., Martens, D. E., Draaisma, R. B., & Wijffels, R. H. (2014). Edible oils from microalgae: Insights in TAG accumulation. In *Trends in Biotechnology* (Vol. 32, Issue 10, pp. 521–528). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.07.004>
- Kobayashi, S., Nakajima, M., Asano, R., Ferreira, E. A., Abe, K., Tamagnini, P., Atsumi, S., & Sode, K. (2019). Application of an engineered chromatic acclimation sensor for red-light-regulated gene expression in cyanobacteria. *Algal Research*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101691>
- Lasmarito, T. C., Widianingsih, W., & Endrawati, H. (2022). Kandungan Lutein Mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan Salinitas Berbeda pada Media Kultur. *Journal of Marine Research*, 11(2), 320–326. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.33819>
- Li, Y., Zhou, W., Hu, B., Min, M., Chen, P., & Ruan, R. R. (2012). Effect of light intensity on algal biomass accumulation and biodiesel production for mixotrophic strains *Chlorella kessleri* and *Chlorella protothecoide* cultivated in highly concentrated municipal wastewater. *Biotechnology and Bioengineering*, 109(9), 2222–2229. <https://doi.org/10.1002/bit.24491>
- Mandal, R., & Dutta, G. (2020). From photosynthesis to biosensing: Chlorophyll proves to be a versatile molecule. In *Sensors International* (Vol. 1). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2020.100058>
- Merdekawati, W., Karwur, F. F., & Susanto, A. B. (2017). KAROTENOID PADA ALGAE: KAJIAN TENTANG BIOSINTESIS, DISTRIBUSI SERTA FUNGSI KAROTENOID. *BIOMA*, 13(1), 23–32. [https://doi.org/10.21009/bioma13\(1\).3](https://doi.org/10.21009/bioma13(1).3)

- Metsoviti, M. N., Papapolymerou, G., Karapanagiotidis, I. T., & Katsoulas, N. (2020). Effect of light intensity and quality on growth rate and composition of *Chlorella vulgaris*. *Plants*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/plants9010031>
- Mousavian, Z., Safavi, M., Salehirad, A., Azizmohseni, F., Hadizadeh, M., & Mirdamadi, S. (2023). Improving biomass and carbohydrate production of microalgae in the rotating cultivation system on natural carriers. *AMB Express*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-023-01548-5>
- Mulders, K. J. M. (2014). *Phototrophic pigment production with microalgae*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2104.8804>
- Novianti, T., Zainuri, M., & Widowati, I. (2019). Aktivitas Antioksidan dan Identifikasi Golongan Senyawa Aktif Ekstrak Kasar Mikroalga *Chlorella Vulgaris* Yang Dikultivasi Berdasarkan Sumber Cahaya Yang Berbeda. *Barakuda 45: Jurnal Ilmu Perikanan Dan Kelautan*, 1(2), 72–87. <https://doi.org/10.47685/barakuda45.v1i2.44>
- P Utomo, N. B., Erlina, A., Budidaya Perairan, J., Perikanan dan Ilmu Kelautan, F., & Besar Pengembangan Budidaya Air Payau, B. (2007). *Growth of Spirulina platensis Cultured with Inorganic Fertilizer (Urea, TSP and ZA) and Chicken Manure*. <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jai>
- Perdana, B. A., Dharma, A., Zakaria, I. J., & Syafrizayanti. (2021). Freshwater pond microalgae for biofuel: Strain isolation, identification, cultivation and fatty acid content. *Biodiversitas*, 22(2), 505–511. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220201>
- Ratomski, P., & Hawrot-Paw, M. (2021). Production of *chlorella vulgaris* biomass in tubular photobioreactors during different culture conditions. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/app11073106>
- Richmond, A. (2004). Handbook of Microalgal Culture : Biotechnology and Applied Phycology. In *Handbook of Microalgal Culture : Biotechnology and Applied Phycology*. Blackwell Science. <https://doi.org/10.1002/9780470995280.fmatter>
- Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P. Y., & Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 35, pp. 265–278). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>
- Schulze, P. S. C., Barreira, L. A., Pereira, H. G. C., Perales, J. A., & Varela, J. C. S. (2014). Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production. In

- Trends in Biotechnology* (Vol. 32, Issue 8, pp. 422–430). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2014.06.001>
- Sforza, E., Simionato, D., Giacometti, G. M., Bertucco, A., & Morosinotto, T. (2012). Adjusted light and dark cycles can optimize photosynthetic efficiency in algae growing in photobioreactors. *PLoS ONE*, 7(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038975>
- Soleimani khorramdashti, M., Samipoor Giri, M., & Majidian, N. (2021). Extraction lipids from chlorella vulgaris by supercritical CO₂ for biodiesel production. *South African Journal of Chemical Engineering*, 38, 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.03.008>
- Sumijo, O., & Riyono, H. (2007). *BEBERAPA SIFAT UMUM DARI KLOROFIL FITOPLANKTON*. XXXII, 23–31. www.oseanografi.lipi.go.id
- Susanti Hendriyani, I., Setiari, D. N., Struktur, L. B., Tumbuhan, F., Biologi, J., Matematika, F., & Pengetahuan, I. (2009). *KANDUNGAN KLOROFIL DAN PERTUMBUHAN KACANG PANJANG (Vigna sinensis) PADA TINGKAT PENYEDIAAN AIR YANG BERBEDA*.
- Talib, R. M. (2022). *PENGARUH GAS PEMBAKARAN BATUBARA TERHADAP PERTUMBUHAN, KANDUNGAN LIPID DAN KAROTENOID TOTAL SERTA PROFIL ASAM LEMAK Chlorella emersonii*.
- Tewal, F., Kemer, K., RTSL Rimper, J., Mantiri, D. M., Pelle, W. E., & Mudeng Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Sam Ratulangi, J. D. (2021). *LAJU PERTUMBUHAN DAN KEPADATAN MIKROALGA Dunaliella sp. PADA PEMBERIAN TIMBAL ASETAT DENGAN KONSENTRASI YANG BERBEDA* *Growth Rate and Density of Microalgae Dunaliella sp. Treated With Lead Acetate at Different Concentrations*.
- Wahidin, S., Idris, A., & Shaleh, S. R. M. (2013). The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae Nannochloropsis sp. *Bioresource Technology*, 129, 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.032>
- Wicaksono, G. (2014). *Pengaruh Pemberian Spektrum Cahaya Yang Berbeda Terhadap Kandungan Klorofil Spirulina sp.*