

# Pengaruh Warna Cahaya Putih dan Merah pada Biosorpsi Mikroalga *Skeletonema costatum* Terhadap Limbah Cair Artifisial Logam Anorganik Pb(II)

Haekal Irfan Titan Prianto<sup>1</sup>, Tanti Utami Dewi<sup>\*</sup>, Novi Eka Mayangsari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail : [tanti.dewi@ppns.ac.id](mailto:tanti.dewi@ppns.ac.id)

## Abstrak

Pencemaran logam anorganik timbal memiliki dampak yang berbahaya bagi tubuh manusia dan hewan apabila terpapar dalam kontaminasi yang melebihi ketetapan regulasi oleh pemerintah. Terdapat berbagai metode upaya penurunan logam anorganik, tetapi pengolahan menggunakan metode biologis dinilai lebih ramah lingkungan karena sedikitnya lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahannya. Penggunaan mikroalga dengan metode biosorpsi logam anorganik dinilai mampu menurunkan kandungan logam anorganik karena kemampuan biomaterial mikroba untuk mengikat dan mengkonsentrasikan logam anorganik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh warna cahaya putih dan merah pada biosorpsi, waktu kontak, dan konsentrasi logam anorganik Pb(II) terhadap penurunan kadar Pb(II) dalam limbah cair artifisial menggunakan mikroalga *Skeletonema costatum*. Warna cahaya yang digunakan adalah putih dengan panjang gelombang 380-750 nm dan warna cahaya merah dengan panjang gelombang 620-750 nm. Variasi waktu kontak mikroalga dengan logam anorganik Pb(II) adalah 60 menit, 120 menit, dan 180 menit sedangkan konsentrasi awal Pb(II) adalah 3 mg/L. Analisis yang digunakan untuk menganalisis penurunan kadar Pb(II) adalah analisis spektrofotometer UV-Vis. Hasil yang didapatkan yakni penurunan kadar Pb(II) tertinggi yakni pada kondisi cahaya warna merah dengan waktu kontak selama 60 menit dengan persentase removal mencapai 66,3154 %.

**Keywords :** Biosorpsi, Logam Anorganik Pb(II), *Skeletonema costatum*, Warna Cahaya, Waktu Kontak

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini pertumbuhan ekonomi yang disertai dengan perkembangan industrialisasi pada negara-negara berkembang seperti kawasan Asia Tenggara, tengah menghadapi peningkatan yang semakin pesat. Negara-negara di Asia Tenggara seperti Indonesia juga mengalami kenaikan ekonomi yang meningkat selama akhir dekade terakhir. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2023, produksi Industri di Indonesia mengalami kenaikan sebesar 3,48% pada triwulan III tahun 2023 dengan rata-rata kenaikan sebesar 1,02 % dari tahun 2011 hingga 2023. Kenaikan ekonomi yang pesat terutama akibat industrialisasi juga berdampak negatif pada aspek kelestarian lingkungan, terutama pada kualitas badan air. Hal ini disebabkan dari peningkatan kuantitas air limbah yang dibuang ke badan air seiring dengan meningkatnya angka industrialisasi. Menurut Razman dkk., (2023), terdapat berbagai kualitas dan jumlah air limbah yang diproduksi dari berbagai industri di Asia Tenggara seperti industri karet, tekstil dan kelapa sawit. Air limbah industri pada umumnya mengandung polutan anorganik seperti tembaga, nikel, kadmium, seng, kromium dan timbal yang memiliki efek toksik pada lingkungan dan organisme hidup.

Salah satu polutan anorganik berbahaya yang dihasilkan dari air limbah hasil kegiatan industri adalah Pb(II) atau timbal. Penggunaan timbal sangat dibutuhkan dan sangat erat kaitannya dengan kebutuhan manusia sehari-hari, seperti bensin bertimbal, proses industri seperti peleburan timbal dan pembakarannya, tembikar, pembuatan kapal, pengecatan berbahan dasar timbal, pipa yang mengandung timbal, daur ulang baterai, industri pewarnaan dan lain-lain. (Nas dan Ali, 2018). Namun, timbal atau Pb(II) merupakan logam paling beracun kedua setelah Arsenik (As). Timbal dalam tubuh manusia dapat berikatan kimia dengan kelompok tiol protein dan toksisitas Pb diyakini menghambat enzim dan selanjutnya mengganggu homeostasis Mg, Ca, dan Zn (Kumar dkk., 2020). Paparan logam timbal dapat menyebabkan gangguan neurologis, pernafasan, saluran kemih, dan kardiovaskular akibat mekanisme modulasi imun, oksidatif, dan inflamasi (Balali-Mood dkk., 2021). Nilai baku mutu untuk kriteria mutu air parameter timbal berdasarkan lampiran VI Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 adalah 0,03 mg/L untuk kelas I,II,III, dan 0,5 mg/L untuk kelas IV.

Beberapa metode pengolahan air limbah telah dikembangkan untuk dapat menurunkan kandungan logam anorganik. Salah satu metode pengolahan yang digunakan untuk menurunkan kandungan logam anorganik

dalam air limbah adalah dengan menggunakan metode pengolahan biologis menggunakan mikroorganisme. Kemampuan dan resistensi mikroalga terhadap logam anorganik dinilai mampu untuk menurunkan kandungan logam anorganik dalam air limbah terutama logam timbal Pb(II). *Skeletonema costatum* dinilai dapat menurunkan kandungan logam anorganik, terutama kandungan logam timbal Pb(II). Berdasarkan Lee dkk., (2017), *Skeletonema costatum* mampu hidup dengan paparan timbal hingga konsentrasi 20 mg/L dan mengalami puncak kenaikan laju kepadatan sel pada konsentrasi 5 mg/L. Paparan timbal tidak berpengaruh pada kepadatan sel hingga uji konsentrasi 1,25, 2,50, dan 5,00 mg/L, tetapi menurun secara signifikan pada 10,00 mg/L menjadi 0,050 dan saat konsentrasi 20,00 mg/L, dengan cepat menurun menjadi 0,009.

Selain konsentrasi dan waktu kontak, mikroalga juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya untuk pertumbuhannya. Menurut penelitian yang dilakukan Oh dkk., (2015) peningkatan pertumbuhan mikroalga berdasarkan panjang gelombang LED tidak hanya mempengaruhi laju fotosintesis tetapi juga laju penyerapan nutrisi. Berdasarkan beberapa penelitian yang ada bahwa masih sedikit pengaplikasian mikroalga *Skeletonema costatum* dalam penyisihan logam timbal Pb(II) dengan pengaruh cahaya. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan limbah cair artifisial logam timbal Pb(II) dan mikroalga *Skeletonema costatum* metode biosorpsi serta pengaruh warna cahaya seperti warna putih (380 -750 nm) dan warna merah (620 – 760 nm, untuk membuktikan efektivitas *Skeletonema costatum* dalam menurunkan logam timbal Pb(II) dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh perbedaan warna cahaya dan waktu kontak dalam proses biosorpsi mikroalga *Skeletonema costatum* terhadap penurunan logam timbal Pb(II).

## 2. METODE

### 2.1. Photobioreactor

*Photobioreactor* dibuat dengan kriteria desain untuk panjang, lebar, dan tinggi berturut-turut adalah 100 cm, 40 cm, 30 cm. *Photobioreactor* dilengkapi dengan Lampu LED berwarna putih dengan panjang gelombang 380 -750 nm. Cahaya lampu mempunyai fungsi sebagai sumber energi bagi mikroorganisme (Sperling, 2007). Jarak lampu dari dasar *photobioreactor* adalah 15 cm dan diletakan 6 buah erlenmeyer berukuran 250 mL di dalamnya. Dinding *photobioreactor* dilapisi dengan aluminium foil seperti pada gambar 1 yang berfungsi sebagai pencegah cahaya keluar dari *photobioreactor* dengan kata lain mikroalga mendapatkan penyinaran yang maksimal (Daniyati dkk., 2012). Pengkayaan unsur hara pada media dilakukan dengan pemberian pupuk silika dengan pupuk KW21 dan pupuk silika dan pupuk KW21 dengan konsentrasi optimal yaitu masing-masing 1 ml/L (Lestari dkk., 2019). Media yang digunakan untuk pertumbuhan yang digunakan adalah air laut.



Gambar 1. Desain *Photobioreactor*

### 2.2. Pembuatan Larutan Induk

Larutan Induk adalah  $Pb(NO_3)_2$  dengan konsentrasi 200 mg/L. Larutan induk digunakan untuk membuat kurva kalibrasi dengan konsentrasi 0 (blanko), 0,4, 0,8, 1,2, 1,6, 2, 3, 4, dan 5 mg/L. Kurva Kalibrasi adalah hubungan antara konsentrasi dan nilai absorbansi yang dianalisis menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Selain untuk kurva kalibrasi, larutan induk juga digunakan untuk membuat limbah Pb artifisial dengan konsentrasi 3 mg/L.

### 2.3. Pembuatan Kurva Standar

Konsentrasi yang digunakan untuk membuat kurva kalibrasi adalah 0 (blanko), 0,4, 0,8, 1,2, 1,6, 2, 3, 4, dan 5 mg/L. Persamaan kurva kalibrasi yaitu hubungan antara sumbu y dan sumbu x. Sumbu x merupakan konsentrasi yang diperoleh dari hasil pengukuran dan sumbu y merupakan serapan yang diperoleh dari hasil pengukuran. Linieritas suatu kurva dikatakan memenuhi persyaratan apabila nilai koefisien korelasi (r) yang diperoleh mendekati 1. Nilai r yang mendekati 1 menandakan adanya hubungan linier antara konsentrasi analit dengan absorbansi yang terukur (Qonitah, 2023).

## 2.4. Aklimatisasi

Aklimatisasi merupakan tahap penyesuaian diri mikroorganisme dengan kondisi limbah cair yang akan diolah, termasuk sumber makanannya (Gunawan & Kahar, 2019). Aklimatisasi dilakukan untuk mengadaptasi sel mikroalga untuk meningkatkan tekanan logam pada budidaya fotoautotrofik (Kumar dkk., 2020). Konsentrasi limbah artifisial Pb yang digunakan adalah 3 mg/L.

## 2.5. Biosorpsi

Sampel biosorpsi sebanyak 2 kali (duplo) dengan volume kerja 100 mL dengan perbandingan volume logam anorganik Pb(II) dan volume mikroalga 1:9 (Mišić Radić dkk., 2021) untuk 75 mL mikroalga *Skeletonema costatum* dan 7,5 ml larutan limbah artifisial Pb(II) dengan konsentrasi 3 mg/L.. Proses biosorpsi dilakukan saat mikroalga mencapai fase eksponensial dan stasioner. Pada proses biosorpsi juga dilakukan aerasi untuk memenuhi kebutuhan oksigen terlarut. Variasi waktu kontak biosorpsi adalah 60, 120, dan 180 menit dengan penyinaran cahaya yang berasal dari LED warna putih dan Merah.

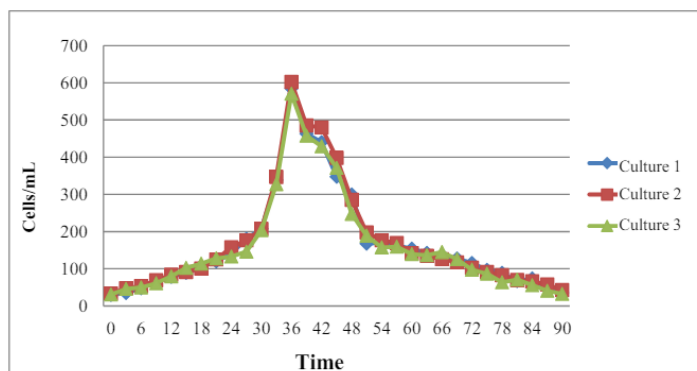
## 2.6. Uji Statistika

Terdapat 2 metode pengujian statistika yang dilakukan yaitu uji normalitas dan uji MANOVA. Jenis uji normalitas yang dilakukan adalah metode *Shapiro-Wilk*. Uji MANOVA atau *Multivariate Analysis of Variance* adalah salah satu teknik statistika yang digunakan untuk menghitung pengujian signifikansi perbedaan rata-rata secara bersamaan antara kelompok untuk dua atau lebih variabel terikat (Sutrisno & Wulandari, 2018).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Analisis Pertumbuhan Mikroalga *Skeletonema costatum*

Perkembangan dan pertumbuhan kepadatan sel mikroalga *Skeletonema costatum* yang teramati meliputi fase lag (adaptasi), fase eksponensial (fase logaritmik), fase penurunan laju pertumbuhan, fase stasioner, dan fase kematian. Pupuk Silika merupakan pupuk yang penting untuk pertumbuhan mikroalga diatom terutama *Skeletonema costatum*. Silika merupakan bahan utama pembentuk dinding sel *Bacillariophyceae* (diatom) sehingga silika merupakan zat yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan *Skeletonema costatum* (Setyaningsih dkk., 2021). Menurut penelitian Lestari dkk., (2019) penambahan sel rata-rata pada diatom *Chaetoceros calcitrans* jauh lebih tinggi sebesar 607% dengan konsentrasi silikat dan pupuk KW21 pada konsentrasi optimal yaitu masing-masing 1 ml/L. Berikut merupakan grafik kultur mikroalga menurut penelitian dari Azmi dkk., (2020)



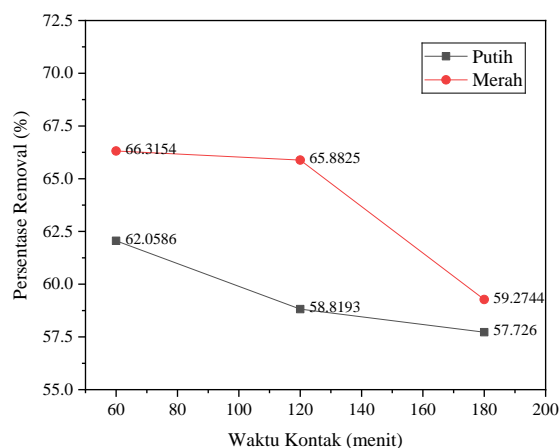
**Gambar 2.** Kurva Pertumbuhan Mikroalga *Skeletonema costatum*  
(Sumber : Azmi dkk., 2020)

Berdasarkan gambar 2 pertumbuhan mikroalga *Skeletonema costatum* diawali pada fase lag yang dimulai pada jam ke-0. Pada tahap ini hanya sedikit sel yang masih membelah sehingga jumlah selnya tidak bertambah banyak. Secara fisiologis, sel-sel ini bersiap untuk pembelahan sel dengan memproduksi enzim dan senyawa metabolik lain yang diperlukan untuk pembelahan sel. Oleh karena itu tahap ini disebut juga dengan fase lag (Zulfahmi dkk., 2021). Fase selanjutnya yakni fase eksponensial yang dimulai pada jam ke-36 dari sejak dimulainya proses kultur. Berdasarkan Masrun dkk., (2022) fase ini diawali dari pembelahan sel yang dilihat dari jumlah sel *Skeletonema costatum* telah mengalami peningkatan kepadatan. Fase eksponensial atau fase logaritmik menunjukkan bahwa *Skeletonema costatum* telah berhasil beradaptasi setelah mampu memanfaatkan nutrisi yang tersedia pada media kultur. Selanjutnya yakni fase Stasioner yang terjadi pada jam ke-42 hingga jam ke-48. Ketika populasi sel mencapai titik optimum, maka ketersediaan unsur hara semakin berkurang dan kualitas air media menurun, sehingga kebutuhan unsur hara tidak terpenuhi dan kualitas media menjadi tidak

sesuai untuk pertumbuhan sel. Menurunnya kualitas media disebabkan oleh adanya sel-sel yang telah mati dan sisa metabolisme yang dapat mengendap di dasar (Masrun dkk., 2022). Fase terakhir yakni fase kematian yang terjadi pada jam ke-90 dari sejak dimulainya proses kultur. Adanya sel mati dan sisa metabolisme menyebabkan terganggunya proses pencahayaan, karena intensitas cahaya akan berkurang dengan adanya kekeruhan. Persaingan antar sel untuk mendapatkan nutrisi dan terbatasnya ruang menyebabkan sel mati dan mengurangi jumlah sel yang tumbuh (Sahabuddin dkk., 2014).

### 3.2 Analisis Hubungan Warna Cahaya dan Waktu Kontak terhadap Removal Pb(II)

Hasil penelitian menunjukkan adanya kesamaan penurunan nilai penyisihan limbah cair artifisial Pb(II) dengan semakin bertambahnya waktu kontak yakni 60 menit, 120 menit, dan 180 menit baik dalam kondisi pencahayaan warna merah maupun warna putih. Namun, nilai penyisihan limbah cair artifisial Pb(II) lebih tinggi pada kondisi pencahayaan warna merah yakni 66,3154 % daripada dalam kondisi pencahayaan warna putih yang nilai penyisihan tertingginya hanya 62,0586 %. Perbedaan nyata antara spektrum cahaya putih dan merah disebabkan karena spektrum cahaya merah memiliki panjang gelombang yang diserap secara maksimal oleh klorofil-a dikarenakan puncak gelombang pada spektrum cahaya merah lebih tinggi (Arifah dkk., 2019). Cahaya Merah juga menunjukkan perluasan sistem dalam kloroplas yang menempati bagian utama dari volume sel pada mikroalga diatom. Perluasan sistem membran tilakoid didalam kloroplas memungkinkan peningkatan penampang penyerapan spektrum cahaya (Herbstova dkk., 2017). Kemampuan diatom untuk merespons cahaya merah dengan baik disebabkan oleh keberadaan berbagai fotoreseptor seperti fitokrom dan aureokrom eksklusif yang terlibat dalam proses. Selain itu, bagi diatom, cahaya merah dapat memicu stimulasi pertumbuhan, produksi etilen, akumulasi lipid, dan peningkatan susunan tilakoid (Sharma dkk., 2020). Kemampuan penyerapan cahaya yang maksimal oleh mikroalga diatom pada warna cahaya merah juga dapat mempengaruhi proses penyerapan logam Pb(II). Fitokrom diatom, seperti PtDPH1, sensitif terhadap cahaya merah. Fitokrom tersebut memediasi respons cahaya dengan mengubah ekspresi gen yang terkait dengan fotosintesis. Saat terpapar cahaya merah, fitokrom mengaktifkan jalur pensinyalan yang meningkatkan efisiensi fotosintesis dan produksi energi dengan mendorong sintesis klorofil dan protein fotosintesis lainnya (Fortunato dkk., 2016). Energi yang dihasilkan berguna dalam metabolisme mikroalga, termasuk pengangkutan ion-ion logam Pb(II).



**Gambar 3.** Efisiensi Penyisihan Pb(II) terhadap Waktu Pasca Biosorpsi dengan Konsentrasi 3 mg/L

### 3.3 Analisis Uji Statistika

Analisis uji statistika bertujuan untuk hipotesis penelitian memenuhi nilai signifikansi atau tidak, apabila memenuhi maka variabel bebas yang pada penelitian ini yakni konsentrasi, waktu kontak, dan warna cahaya tersebut berpengaruh terhadap variabel terikat berupa biosorpsi mikroalga *Skeletonema costatum*. Uji yang dilakukan adalah uji normalitas dengan metode *Shapiro-wilk* dengan nilai signifikan yang diperoleh <0,05. Selanjutnya, pada hasil uji MANOVA diperoleh nilai signifikan <0,05 sehingga variasi konsentrasi, waktu kontak, dan warna cahaya memberikan pengaruh terhadap kepadatan sel dan penyisihan logam anorganik Pb(II).

## 4. KESIMPULAN

Terdapat pengaruh antara variasi warna cahaya, waktu kontak, dan konsentrasi logam anorganik Pb(II) terhadap penyisihan logam anorganik Pb(II) dengan nilai signifikansi kurang dari 0,05 ( $p < 0,05$ ). Nilai penyisihan tertinggi terjadi pada kondisi pencahayaan warna cahaya merah dengan waktu kontak 60 menit

pada konsentrasi logam anorganik Pb(II) 3 mg/L, dengan persentase penyisihan sebesar 66,3154 %, sedangkan pada kondisi pencahayaan warna cahaya putih dengan waktu kontak 60 menit pada konsentrasi logam anorganik Pb(II) 3 mg/L hanya menghasilkan nilai penyisihan sebesar 62,0586 %. Dengan adanya penelitian ini telah menunjukkan bahwa mikroalga *Skeletonema costatum* dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif biosorben pengolahan biologis untuk menurunkan kandungan logam anorganik Pb(II)

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, K. A., Arsad, S., & Sari, L. A. (2020, February). The effect of commercial nutrients to increase the population of *Skeletonema costatum* on laboratory and mass scales. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 441, No. 1, p. 012039). IOP Publishing.
- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat (2023). *Pertumbuhan Ekonomi Indonesia Tahun 2023*. Jakarta Pusat : Badan Pusat Statistik
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in pharmacology*, 227.
- Daniyati, R., Yudoyono, G., Rubiyanto, A. (2012). Desain Closed Photobioreaktor *Chlorella vulgaris* sebagai Mitigasi CO<sub>2</sub>. *Jurnal Sains dan Seni*, Vol. 1(1):B1-B5
- Fortunato, A. E., Jaubert, M., Enomoto, G., Bouly, J. P., Raniello, R., Thaler, M., ... & Falciatore, A. (2016). Diatom phytochromes reveal the existence of far-red-light-based sensing in the ocean. *The Plant Cell*, 28(3), 616-628.
- Gunawan, Rahmat., Kahar, Abdul. (2019). Pengaruh Laju Alir Resirkulasi pada Seeding dan Aklimatisasi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) dalam Bioreaktor Anaerobik. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*.
- Herbstová, M., Bína, D., Kaňa, R., Vácha, F., & Litvín, R. (2017). Red-light phenotype in a marine diatom involves a specialized oligomeric red-shifted antenna and altered cell morphology. *Scientific Reports*, 7(1), 11976.
- Kumar, A., Kumar, A., MMS, C. P., Chaturvedi, A. K., Shabnam, A. A., Subrahmanyam, G., ... & Yadav, K. K. (2020). Lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches. *International journal of environmental research and public health*, 17(7), 2179.
- Monteiro, C. M., Castro, P. M., & Malcata, F. X. (2012). Metal uptake by microalgae: underlying mechanisms and practical applications. *Biotechnology progress*, 28(2), 299-311.
- Kumar, N., Hans, S., Verma, R., & Srivastava, A. (2020). Acclimatization of microalgae *Arthrospira platensis* for treatment of heavy metals in Yamuna River. *Water Science and Engineering*, 13(3), 214-222
- Lee, J. W., Ryu, H. M., Heo, S., Jang, S. J., Lee, K. W., & Hwang, U. K. (2017). Effect of heavy metals (As, Cr, Pb) on the population growth rates of marine diatom, *Skeletonema costatum*. *Journal of Marine Life Science*, 2(1), 20-26.
- Lestari, U. A., Mukhlis, A., & Priyono, J. (2019). Pengaruh Pemberian Pupuk Nutrisil Dan Kw 21 + Si Terhadap Pertumbuhan *Chaetoceros calcitrans*. *Jurnal Perikanan*, 9(1), 66-74.
- Masrun, M., Hasim, H., & Mulis, M. (2022). Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Dengan Dosis Berbeda Terhadap Pertumbuhan *Skeletonema costatum*. *Jurnal Vokasi Sains Dan Teknologi*, 2(1), 27– 31
- Nas, F. S., & Ali, M. (2018). The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: a review. *MOJ Ecol. Environ. Sci*, 3(4), 265-268.
- Oh, S. J., Kwon, H. K., Jeon, J. Y., & Yang, H. S. (2015). Effect of monochromatic light emitting diode on the growth of four microalgae species (*Chlorella vulgaris*, *Nitzschia* sp., *Phaeodactylum tricorutum*, *Skeletonema* sp.). *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 21(1), 1-8.
- Qonitah, F. (2023). Analisis Kandungan Asam Retinoat Pada Sediaan Krim Malam Yang Beredar Di Toko Online Kota Surakarta. *Jurnal Farmasi Sains Dan Teknologi*, 1(01), 14-24.
- Razman, K. K., Hanafiah, M. M., Ramli, A. N., & Harun, S. N. (2023, May). Industrial wastewater treatment methods employed in Southeast Asian countries. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1167, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- Sahabuddin, S., Khaeriyah, A., & Chadijah, A. (2014). Pengaruh Peningkatan Konsentrasi Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) terhadap Pertumbuhan Populasi dan Performansi Fitoplankton Adopsi (*Emiliana Huxleyi* Sp) Skala Laboratorium. *Octopus: Jurnal Ilmu Perikanan*, 3(2), 309-319.
- Setyaningsi, E. P., Nurhidayati, T., Pratiwi, S., Nurhatika, S., Ermavitalini, D., Muhibuddin, A., ... & Tsai, M. J. (2018, June). Microalgae growth and morphology of *skeletonema costatum* on physiological stress nutrient silicon (si). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1028, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.

- Sharma, N., Fleurent, G., Awwad, F., Cheng, M., Meddeb-Mouelhi, F., Budge, S. M., ... & Desgagné-Penix, I. (2020). Red light variation an effective alternative to regulate biomass and lipid profiles in *Phaeodactylum tricornutum*. *Applied Sciences*, 10(7), 2531.
- Sperling, Marcos von. (2007). *Basic Principles of Wastewater Treatment*. New York : IWA Publishing.
- Sutrisno, S., & Wulandari, D. (2018). Multivariate analysis of variance (MANOVA) untuk memperkaya hasil penelitian pendidikan. *AKSIOMA: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 9(1), 37-53.
- Zulfahmi, I., Meria, R., & Puspitasari, W. (2021). Teknik Kultur *Nannochloropsis Sp.* Skala Laboratorium di Balai Perikanan Budidaya Air Payau Ujung Batee, Aceh Besar. *KENANGA: Journal of Biological Sciences and Applied Biology*, 1(1), 31-38.