

## Pengaruh Warna Cahaya Putih dan Cahaya Merah pada Proses Biosorpsi Limbah Cair Artifisial Logam Cu(II) Menggunakan Mikroalga *Skeletonema costatum*

Karina Larasati Gunawan<sup>1</sup>, Tanti Utami Dewi<sup>1\*</sup>, dan 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

Limbah logam Cu(II) merupakan limbah logam yang bila berlebihan dalam mencemari badan air dapat membahayakan sistem fisiologis dan biologis manusia. Strategi penanganan fisikokimia menghasilkan *sludge* dan memakan biaya yang besar. Oleh karena itu, strategi penanganan logam Cu(II) yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik penanganan organik biosorpsi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh warna cahaya, waktu kontak, dan konsentrasi terhadap penyisihan kadar Cu(II) dalam limbah cair artifisial menggunakan mikroalga *Skeletonema costatum*. Warna cahaya yang digunakan adalah putih (380 – 750 nm) dan merah (625 – 740 nm). Variasi waktu kontak Cu(II) adalah 60 menit, 120 menit, dan 180 menit sedangkan konsentrasi awal Cu(II) adalah 2 mg/L dan 5 mg/L. Analisis yang digunakan untuk menganalisis penurunan kadar Cu(II) adalah analisis spektrofotometer UV-Vis. Hasil yang didapatkan yaitu penurunan kadar Cu(II) menggunakan cahaya putih, waktu kontak 180 menit, konsentrasi Cu(II) awal 5 mg/L dengan persentase penyisihan mencapai 63,78%. Sedangkan pada cahaya merah sebesar 60,98% dengan waktu kontak 60 menit.

**Keywords:** Biosorpsi, Cu(II), Mikroalga *Skeletonema costatum*, Warna Cahaya, Waktu Kontak

### 1. PENDAHULUAN

Limbah cair merupakan sisa dari suatu kegiatan yang berwujud cair yang jika dibuang ke lingkungan dapat menurunkan kualitas lingkungan. Bahan berbahaya seperti zat kimia, nutrisi berlebih dan logam yang terkandung dalam limbah cair dapat menimbulkan pengaruh negatif bagi lingkungan dan Kesehatan manusia apabila tidak diolah dengan baik. Logam yang terkandung dalam limbah cair antara lain : arsen (Ar), kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), krom (Cr), dan seng (Zn) (Komarawidjaja, 2017).

Logam Cu(II) adalah logam yang bersifat esensial karena dibutuhkan dalam jumlah tertentu oleh organisme. Limbah cair yang tercemar oleh logam tembaga dalam konsentrasi yang tinggi dapat merusak sistem fisiologis dan biologis manusia. Logam Cu(II) dalam air limbah pada konsentrasi 0,01 ppm dapat membunuh fitoplankton dan pada konsentrasi 1,5-3 ppm dapat membunuh biota air seperti ikan (Setiawan, dkk., 2019) serta mampu menimbulkan gangguan paru – paru hingga kematian manusia (Irianti, dkk., 2017). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu proses pengolahan untuk menurunkan kadar logam Cu(II) pada air limbah.

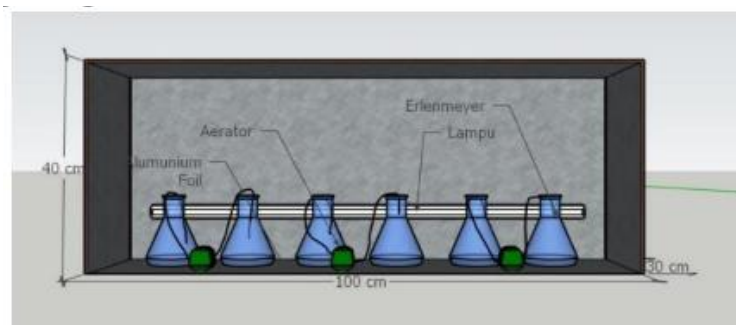
Pengolahan limbah secara biologis dengan menggunakan mikroorganisme seperti mikroalga merupakan salah satu opsi pengolahan air limbah industri dengan berbagai keuntungan. Proses biosorpsi dapat menjadi alternatif potensial untuk menghilangkan logam dari air limbah karena memiliki beberapa kelebihan, antara lain : proses biosorpsi tidak membentuk lumpur yang bersifat toksik sehingga ramah lingkungan, hemat biaya, dan dapat mereduksi pencemar secara permanen (Beoang, 2019). Mikroalga *Skeletonema costatum* merupakan salah satu jenis mikroalga golongan diatom yang memiliki kemampuan sebagai agen bioremediasi dengan menyerap logam seperti merkuri, timbal, dan kadmium (Soedarti, dkk., 2018). Gelombang cahaya LED dianggap sebagai sumber cahaya yang cukup optimal untuk pertumbuhan mikroalga (Amer, dkk., 2011). Mikroalga *Chorella vulgaris* dengan pengaruh warna cahaya LED merah dan waktu kontak 60 mampu secara optimal menyisihkan logam Cu(II) dalam air limbah (Hayati, 2022).

Beberapa penelitian terkait biosorpsi limbah cair logam Cu(II) dengan menggunakan biomassa hidup mikroalga *Skeletonema costatum* masih sedikit dibahas. Maka dari itu, penelitian ini berfokus pada pengaruh sistem pengolahan limbah secara biologis pada logam Cu(II) menggunakan metode biosorpsi. Pada penelitian ini menganalisis pengaruh warna cahaya dan waktu kontak terhadap mikroalga *Skeletonema costatum*, serta menganalisis pengaruh yang ditimbulkan dari penerapan gelombang cahaya dalam penyisihan limbah cair logam Cu(II).

## 2. METODE

### 2.1. Photobioreactor

Photobioreactor dibuat dengan dimensi panjang, lebar, dan tinggi berturut-turut adalah 100 cm, 40 cm, 30 cm. Reaktor dilengkapi dengan lampu LED berwarna putih (380 -750 nm) dan LED berwarna merah (625-740 nm). Cahaya lampu mempunyai fungsi sebagai sumber energi bagi mikroorganisme (Sperling, 2007). Jarak lampu dari dasar reaktor adalah 15 cm dan diletakan 6 buah erlenmeyer di dalamnya. Dinding reaktor dilapisi dengan aluminium foil seperti Gambar-1. Selama proses kultur mikroalga juga diberikan pupuk KW21 dan pupuk silikat masing-masing 1mg/L untuk pertumbuhan mikroalga yang diberikan pada awal kultur (Lestari, dkk., 2019), serta diinjeksikan oksigen melalui aerator (Zakir dkk., 2022). Media yang digunakan untuk pertumbuhan yang digunakan adalah air laut.



Gambar 1. Desain Photobioreaktor

### 2.2. Pembuatan Larutan Induk

Larutan Induk adalah  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  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 Cu(II) artifisial dengan konsentrasi 2 mg/L dan 5 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. Kurva kalibrasi merupakan grafik yang menghubungkan antara konsentrasi larutan dan nilai absorbansi. 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 (Chakti, dkk, 2019).

### 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 berat pada budidaya fotoautotrofik (Kumar dkk., 2020). Konsentrasi limbah artifisial Cu(II) yang digunakan adalah 2 mg/L dan 5 mg/L.

### 2.5. Biosorpsi

Sampel biosorpsi sebanyak 2 kali (duplo) dengan volume kerja 100 mL dengan perbandingan 10:1 (Mišić Radić, T., dkk., 2021) untuk 75 mL mikroalga *Skeletonema costatum* dan 7,5 ml larutan limbah artifisial Cu(II) masing-masing konsentrasi 2 mg/L dan 5 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 LED warna merah.

### 2.6. Uji Statistika

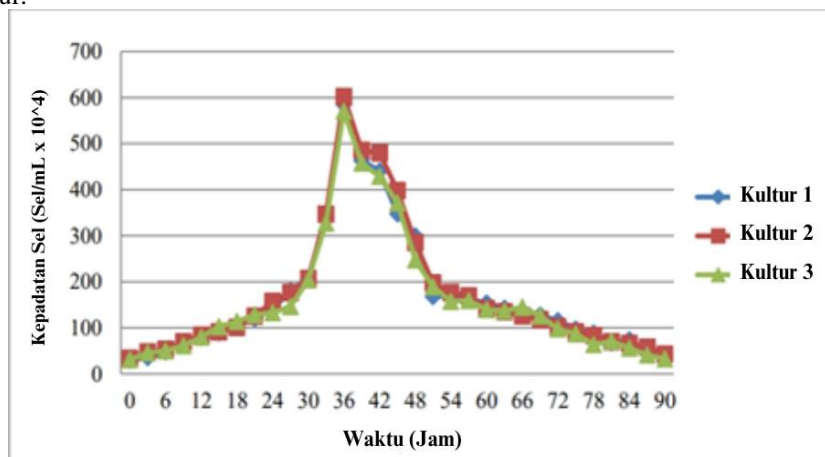
Terdapat 2 metode pengujian statistika yang dilakukan yaitu uji normalitas dan uji MANOVA. jenis uji normalitas yang dilakukan adalah metode *Kolmogrov Smirnov*. Uji MANOVA atau *Multivariate Analysis of Variance* adalah salah satu teknik statistika yang digunakan untuk menghitung pengujian signifikansi 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 stasioner, dan fase kematian. Mikroalga dapat tumbuh secara optimal jika kebutuhan nutrisi terpenuhi, selama masa pertumbuhan mikroalga diinjeksikan dengan pupuk KW21 dan pupuk silikat masing-masing 1 ml pada awal kultur Analisis pertumbuhan mikroalga dilakukan dengan menghitung kepadatan mikroalga dengan menggunakan mikroskop yang dilengkapi dengan *Hemocytometer Neubauer Improved*. Berikut merupakan grafik pertumbuhan mikroalga selama 90 jam dilakukan kultur.

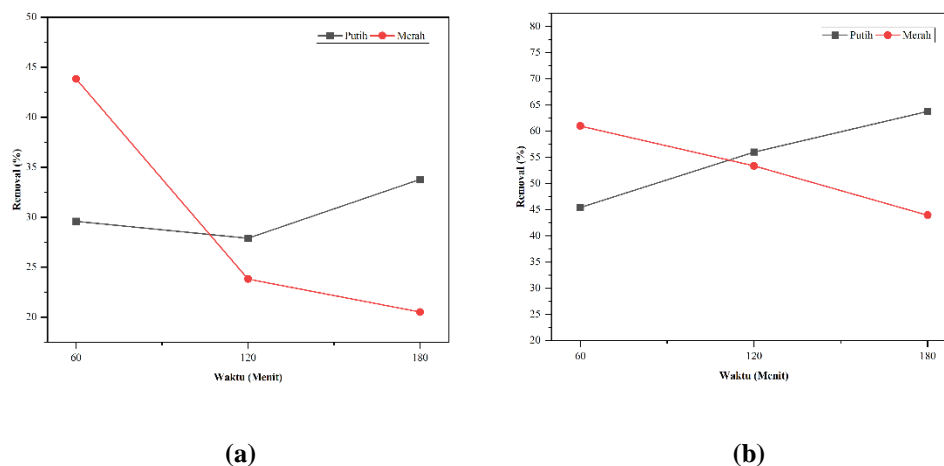


**Gambar 1.** Pertumbuhan Mikroalga *Skeletonema costatum*  
(Sumber : Azmi, dkk., 2020)

Berdasarkan Gambar-1 kepadatan sel mikroalga pada fase lag terjadi pada jam ke-0. Sejak jam ke-0 pertumbuhan mikroalga pada saat kultur tidak selalu mengalami fase lag jika kondisi lingkungannya sudah sesuai dengan kondisi lingkungan sebelumnya (Fitriani, dkk., 2017). fase eksponensial terjadi pada jam ke-21 dan mengalami puncak kepadatan sel pada jam ke-36. Mikroalga dapat beradaptasi dengan baik dengan lingkungan baru disebabkan oleh unsur kimia nitrogen dan unsur hara makro esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan dinding sel mikroalga agar memiliki ketahanan terhadap kondisi ekstrim lingkungannya (Cannavaro, dkk., 2024). Fase stasioner terjadi pada jam ke 42 hingga jam ke-48. Fase stasioner pada kultur mikroalga diatom dipengaruhi oleh penurunan intensitas cahaya. Kepadatan sel yang tinggi menyebabkan penetrasi cahaya terhalang oleh bayangan mikroalga (Fitriani, dkk., 2017). Pada jam ke-90 mengalami fase kematian yang ditandai dengan kematian sel dalam jumlah besar dan hampir tidak terjadi pembelahan sel (Prayitno, 2016). Faktor yang menyebabkan penurunan kepadatan sel ialah kandungan unsur hara yang terdapat pada media kultur.

### 3.2 Analisis Hubungan Warna Cahaya dan Waktu Kontak terhadap Removal Cu

Hasil uji konsentrasi akhir penyisihan limbah cair artifisial Cu(II) menunjukkan penurunan pada setiap konsentrasi sedangkan terhadap waktu kontak 60, 120, dan 180 menit mengalami kenaikan pada warna cahaya putih (3380 -750 nm) dan mengalami penurunan pada warna cahaya merah (625 – 740 nm). Panjang gelombang berbanding terbalik dengan energi yang dihasilkan untuk melakukan penyisihan logam (Arifah, dkk., 2019). Energi yang kecil menyebabkan warna cahaya putih tidak mengalami titik jenuh yang lebih cepat dibandingkan dengan warna cahaya merah. Akibatnya sel mikroalga *Skeletonema costatum* mampu menyerap logam, akan tetapi memerlukan waktu yang lama. Hal tersebut disebabkan karena adanya proses biokimia yaitu fotosintesis dengan mengakumulasi logam Cu(II) secara perlahan (Putri, 2023), sehingga hasil penyerapan cenderung meningkat seiring dengan pertambahan waktu kontak. Pada penelitian ini efisiensi penyisihan logam Cu(II) oleh mikroalga *Skeletonema costatum* pada konsentrasi 5 mg/L dengan waktu kontak 180 menit menghasilkan efisiensi penyisihan terbesar yaitu 63,78 %. Pada variasi LED warna merah hasil penyisihan logam Cu(II) terbesar terjadi pada kondisi konsentrasi 5 mg/L dengan waktu kontak 60 menit yaitu sebesar 60,98 %. Hal tersebut terjadi karena panjang gelombang LED merah lebih pendek yaitu 625-740 nm, sehingga energi (ATP dan NADPH) yang dihasilkan untuk penyerap klorofil pada dinding sel mikroalga lebih besar dan lebih cepat dibandingkan dengan LED warna cahaya putih. Namun, pada variasi LED warna merah semakin lama waktu kontak mikroalga dengan logam Cu(II) akan mengalami stress dan merusak dinding sel mikroalga akibat paparan logam yang diterimanya sehingga kemampuannya untuk menyerap logam Cu(II) akan menurun (Purnamawati, dkk., 2015). Setiap sel mikroalga memiliki daya serap yang berbeda-beda, tergantung dari kandungan gugus fungsional dari dinding sel, penyerapan secara intraseluler serta pertukaran ion yang terjadi pada permukaan selnya.



**Gambar 2.** Efisiensi Penyisihan Zn(II) terhadap Waktu Pasca Biosorpsi (a) Konsentrasi 2 mg/L dan (b) Konsentrasi 5 mg/L

### 3.3 Analisis Uji Statistika

Analisis uji statistika dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi yang digunakan yaitu konsentrasi, waktu kontak, dan warna cahaya terhadap biosorpsi mikroalga *Skeletonema costatum*. Uji yang dilakukan adalah uji normalitas dengan metode *Kolmogrov Smirnov* dengan nilai signifikan yang diperoleh  $<0,05$ . Selanjutnya, uji MANOVA diperoleh nilai signifikan  $<0,05$  sehingga variasi konsentrasi, waktu kontak, dan warna cahaya memberikan pengaruh terhadap kepadatan sel dan penyisihan logam berat Cu(II).

## 4. KESIMPULAN

Variasi warna cahaya, waktu kontak, dan konsentrasi logam berat Cu(II) berpengaruh terhadap penyisihan logam Cu(II). Warna cahaya putih pada waktu kontak 180 menit dengan konsentrasi logam Cu(II) 5 mg/L mampu menyisihkan logam Cu(II) dengan persentase sebesar 63,78%, dan pada warna cahaya merah pada waktu kontak 60 menit dengan konsentrasi 5 mg/L mampu menyisihkan logam Cu(II) sebesar 60,98%. Dengan adanya penelitian ini telah menunjukkan bahwa mikroalga *Skeletonema costatum* dengan bantuan warna cahaya dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif biosorben untuk meremoval logam Cu(II).

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Amer, L., Adhikari, B., & Pellegrino, J. (2011). Technoeconomic analysis of five microalgae-to-biofuels processes of varying complexity. *Bioresource technology*, 102(20), 9350-9359.
- Arifah, R. U., Sedjati, S., Supriyanti, 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.
- 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.
- Beoang, A. K. R. V. (2019). Penyisihan Logam Berat Tembaga (cu<sup>2+</sup>) Oleh Bakteri Indigenous.
- Cannavaro, S. V., Endrawati, H., & Setyati, W. A. (2024). Analisis Kandungan Klorofil-a dan Kepadatan Diatom *Thalassiosira* sp. Dengan Penggunaan Konsentrasi Silikat yang Berbeda. *Journal of Marine Research*, 13(1), 45-50.
- Chakti, A. S., Eva, S. S., Rani, D. P., (2019). Analisis Merkuri Dan Hidrokuinon Pada Krim Pemutih Yang Beredar Di Jayapura. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 8(1).
- Fitriani, F., Fendi, F., & Rochmady, R. (2017). Pengaruh Pemberian Pupuk Anorganik (NPK+ Silikat) dengan Dosis Berbeda terhadap Kepadatan *Skeletonema costatum* pada Pembenihan Udang Windu. *Akuatis: Jurnal Akuakultur*, 1(1), 11-18.
- 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*.
- Hayati, A. N. (2022). Studi Efektivitas Variasi Gelombang Cahaya Pada Mikroalga *Chlorella vulgaris* Dengan Metode Biosorpsi Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Artifisial Logam Berat Cu (II) (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Irianti, T. T., & Kuswadi, N. S., & Budiyatni, A.(2017). *Logam Berat Dan Kesehatan*. Grafika Indah ISBN: 979820492-1, January 2017, 1-131.

- Komarawidjaja, W. (2017). Paparan limbah cair industri mengandung logam berat pada lahan sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 173-181.
- 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.
- Lestari, U. A., Mukhlis, A., & Priyono, J. (2019). Pengaruh Pemberian Pupuk Nutrisil Dan Kw21+ Si Terhadap Pertumbuhan *Chaetoceros Calcitrans* Effect Of Nutrisil And Kw21+ Si Fertilizer On *Chaetoceros calcitrans* Growth. *Jurnal Perikanan*, 9(1), 66-74.
- Mišić Radić, T., Čačković, A., Penezić, A., Dautović, J., Lončar, J., Omanović, D., ... & Ljubešić, Z. (2021). Physiological and morphological response of marine diatom *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae) exposed to cadmium. *European journal of phycology*, 56(1), 24-36.
- Prayitno, J., 2016. Pola pertumbuhan dan pemanenan biomassa dalam fotobioreaktor mikroalga untuk penangkapan karbon. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 17 (1) : 45-52.
- Purnamawati F. S., Tri R. S., dan Munifatul I. (2015). Potensi *Chlorella vulgaris* Beijerinck Dalam Remediasi Logam Berat Cd dan Pb Skala Laboratorium. *Jurnal BIOMA*, Vol. 16(2):102 – 113.
- Putri, D. R. S. (2023). Pengaruh Warna Cahaya Dalam Proses Biosorpsi Limbah Cair Artifisial Logam Berat Cu (Ii) Menggunakan Mikroalga *Tetraselmis Chuii* (Doctoral Dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Setiawan, A., Basyiruddin, F., & Dermawan, D. (2019). Biosorpsi logam berat Cu (Ii) Menggunakan Limbah *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16(1), 29.
- Soedarti, T., Surtiningsih, T., & Oktavetri, N. I. (2018). Bioremediasi Logam Berat Dan Campurannya Oleh Diatom Laut *Skeletonema Sp.*
- Sperling, Marcos von. (2007). *Basic Principles of Wastewater Treatment*. New York : IWA Publishing.
- Sutrisno., Wulandari, Dewi. (2018). *Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) untuk Memperkaya Hasil Penelitian Pendidikan*. *Aksioma*. 9 (1). 37-53.
- Zakir, Ahmad., Suyasa, I Wayan Budiarsa., Astarini, Ida Ayu. (2022). Efektivitas Mikroalga *Chlorella vulgaris* dan *Spirulina plantensis* dalam Biosorpsi Logam Nikel di Perairan (Kasus Perairan Pomalaa Kabupaten Kolaka). *Ecotrophic*. 16 (1). 83-94.