



Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnal dampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 | ISSN (Online) 2597-5129 |



Artikel Penelitian

Fikoremediasi Pb Dengan Variasi C:N Oleh Mikroalga *Dunaliella* sp.

Al Fatih Fadhillah Jihan Luthfiyah, Harmin Sulistyanning Titah *)

Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

*Koresponden: harmin_st@its.ac.id

Diterima: 16 Mei 2025

Diperbaiki: 30 Juni 2025

Disetujui: 7 Juli 2025

ABSTRACT

In this era of global industry, polluted water is found to originate from agricultural, livestock, industrial, and hotel activities that have high nutrients and heavy metal content of Pb reaching 1 mg/L. This will have an impact on living things such as nervous disorders, physiological and even death. The application of remediation technology by microalgae has been applied in the removal of Pb. However, it is necessary to consider the balance of the C:N nutrient ratio contained in the water media for the nutritional needs. Carbon and nitrogen nutrients are used by microalgae as a source of energy and protein synthesis. The use *Dunaliella* sp. the solution chosen in the application of remediation of Pb polluted water is 76-80%. The variation of the C:N ratio used is 100:7, 100:13, 100:32 with light intensity of 2000, 4000, 6000 lux. The response variables of this experiment were the decrease in Pb levels, microalgae cell density, pH, temperature, CO₂, salinity, dissolved oxygen, and bicarbonate concentration for 14 days. Propagation was carried out for 14 days before the experiment. Cell density was measured using a hemocytometer and using an Atomic Absorption Spectrophotometer. The results of testing the variation of the C:N nutrient ratio obtained a balanced and optimal C:N ratio in removing Pb in *Dunaliella* sp. microalgae 77% at a C:N ratio of 100:32 with a light intensity of 6000 lux. *Dunaliella* sp. produced an average cell density of 535.43 x 10,000 cells/mL with an average growth rate of 4.80 cells/mL/day at environmental conditions that supported.

Keyword: C:N Ratio, *Dunaliella* sp., Pb, Phycoremediation

ABSTRAK

Pada era global industri ini ditemukan air tercemar bersumber dari aktivitas pertanian, peternakan, industri, perhotelan yang memiliki nutrisi tinggi dan kandungan logam berat Pb mencapai 1 mg/L. Hal ini akan berdampak pada makhluk hidup seperti gangguan saraf, fisiologis bahkan kematian. Penerapan teknologi remediasi oleh mikroalga sudah pernah diterapkan dalam penyisihan Pb. Akan tetapi perlu dipertimbangkan keseimbangan rasio nutrisi C:N yang terkandung pada media air untuk kebutuhan nutrisi mikroalga. Nutrisi karbon dan nitrogen digunakan mikroalga untuk sumber energi dan sintesis protein. Penggunaan mikroalga hijau *Dunaliella* sp. solusi yang dipilih dalam penerapan remediasi air tercemar Pb sebesar 76-80%. Variasi rasio C:N yang digunakan penyisihan Pb 1 mg/L adalah 100:7, 100:13, 100:32 dengan variasi intensitas cahaya 2000, 4000, 6000 lux. Variabel respon dari percobaan ini adalah penurunan kadar Pb, kepadatan sel mikroalga, pH, suhu, CO₂, salinitas, *dissolved oxygen*, dan konsentrasi bikarbonat diamati selama 14 hari. Sebelum dilakukan percobaan 14 hari dilakukan propagasi. Kepadatan sel menggunakan hemocytometer dan konsentrasi Pb menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. Hasil dari pengujian variasi rasio nutrisi C:N didapatkan rasio C:N seimbang dan optimal dalam penyisihan Pb pada mikroalga *Dunaliella* sp. 77% pada rasio C:N 100:32 intensitas cahaya 6000 lux. *Dunaliella* sp. menghasilkan kepadatan sel rata-rata 535,43 x 10.000 sel/mL dengan laju pertumbuhan rata-rata 4,80 sel/mL/hari pada parameter kondisi lingkungan mendukung.

Kata Kunci: *Dunaliella* sp., Fikoremediasi, Pb, Rasio C:N

1. PENDAHULUAN

Rasio C:N atau perbandingan karbon dan nitrogen digunakan mikroalga dalam kebutuhan nutrisi pertumbuhannya. Kandungan C:N tinggi didapatkan pada air tercemar seperti dari aktivitas pertanian, peternakan, industri, perhotelan

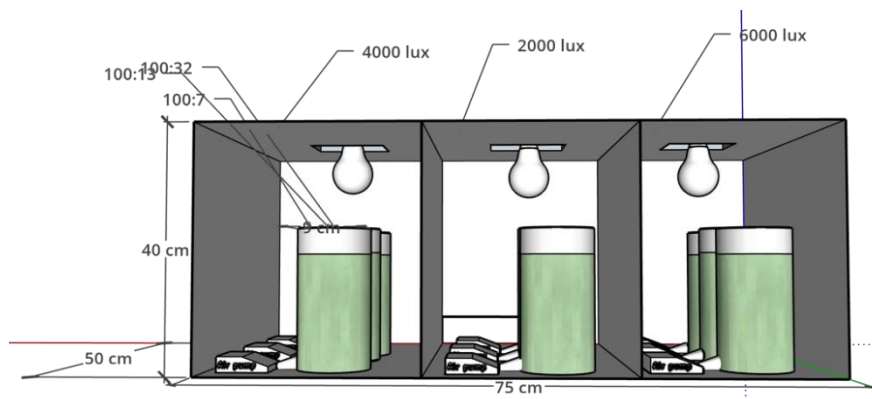
yang saat ini ditemukan banyak mengandung timbal mencapai 1 mg/L. Jika air tercemar tersebut mencemari lingkungan akan berdampak buruk bagi makhluk hidup. Dampak buruk ini disebabkan timbal memiliki sifat toksik jika berlebihan terjadi gangguan fisiologis, kematian, fotosintesis. Jika kontak dengan manusia akan menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan saraf, ginjal, hati (Khanam *et al.*, 2020). Sebagai pencemar global saat ini, konsentrasi timbal pada air tersebut perlu diturunkan agar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat dengan aman.

Teknologi penyisihan timbal ada beberapa macam dapat menggunakan fikoremediasi oleh mikroalga, *reverse osmosis*, adsorpsi dan masih banyak lagi. Teknologi menggunakan fikoremediasi oleh mikroalga memiliki keuntungan dalam aspek biaya operasional yang lebih hemat, sumber daya melimpah di alam. Salah satu solusi dekarbonisasi di atmosfer karena karbondioksida dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk fotosintesis (Greeshma *et al.*, 2022). Berdasarkan penelitian terdahulu efisiensi atau persen penyisihan timbal paling besar adalah *Chlorophyta* karena lebih resisten dan adsorpsi timbal lebih tinggi dari filum mikroalga cokelat dan merah. *Rhodophyta* seperti *Porphyridium* sp memiliki kemampuan 58,99 % penyisihan Pb. Alga Cokelat *Chaetoceros* sp dan *Skeletonema* sp. dalam penelitian terdahulu menyisihkan Pb 64,44% dan 36,45% (Hala *et al.*, 2012) (Liwun *et al.*, 2020) (Putriany *et al.*, 2023). Dalam akumulasi intraseluler penelitian terdahulu telah mengkonfirmasi bahwa lokalisasi intraseluler ion timbal *Dunaliella* sp. memiliki kemampuan toleransi tinggi dan efisiensi penyisihan timbal 87,2 % (Gao *et al.*, 2024).

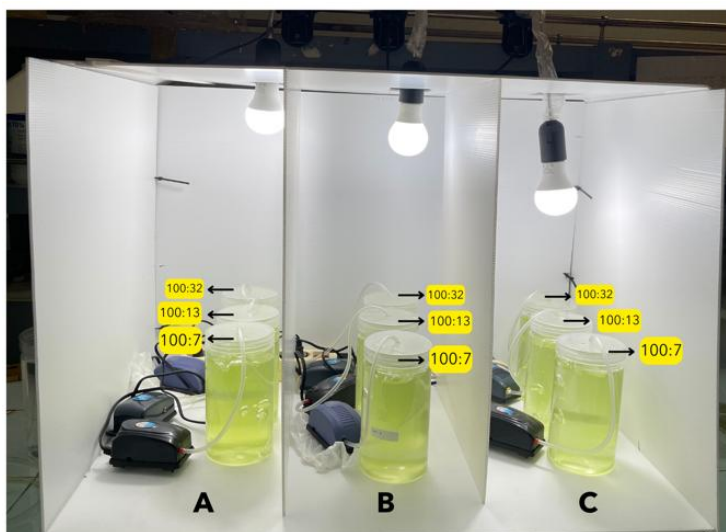
Dalam proses penyerapan timbal ke dalam sel, mikroalga membutuhkan karbon sebagai sumber energi dan nitrogen untuk pertumbuhan sel. Dari proses fotosintesis dan respirasi mikrolaga menghasilkan CO₂ sebagai sumber karbon anorganik untuk fotosintesis. Karbon organik yang memiliki hasil yang baik dalam pertumbuhan mikroalga adalah glukosa. Substrat karbon kompleks yang menghasilkan biomassa yang besar dibandingkan dengan sumber karbon gliserol dan asetat. Sumber nitrogen yang sering digunakan mikroalga yaitu berasal dari urea, nitrat, dan ammonium. Pada logam berat Pb(positif) adsorpsi secara pasif ke dinding sel mikroalga oleh polisakarida bermuatan negatif dan matriks intraseluler (Pham *et al.*, 2020). Efektivitas *Dunaliella* sp. dalam menghilangkan Pb pada air yang terdapat penambahan nutrisi karbon dan nitrogen dapat berjalan dengan baik dipengaruhi pH, suhu, konsentrasi awal Pb, salinitas, *dissolved oxygen*, dan waktu kontak mikroalga dengan media. Rasio C:N paling efektif untuk pertumbuhan mikroalga dibandingkan yang lain yaitu 100:1, 100:13, 100:32. Untuk menghasilkan kondisi optimum penambahan sel maka penambahan karbon sebesar 200 ppm atau 199,77 mg/L (Kristiawan *et al.*, 2018). Uji rasio C:N sangat penting untuk memastikan bahwa kondisi pertumbuhan mikroorganisme optimal dan nutrisi dalam metabolisme mikroalga tercukupi dalam aktivitas biosorpsi timbal.

2. METODOLOGI

Metode pada penelitian ini untuk menggambarkan bagaimana konsep dan alur penelitian fikoremediasi air terkontaminasi timbal dengan uji rasio C:N mikroalga *Dunaliella* sp. Rasio C: N merupakan faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi metabolisme pada spesies mikroalga *Dunaliella* sp. Uji rasio C: N yang sesuai dapat meningkatkan produksi biomassa, kapasitas penyerapan timbal mikroalga, dan lebih efektif dalam aplikasi fikoremediasi. Rekayasa alat penelitian yang digunakan ada 9 reaktor untuk variasi nutrisi rasio C:N lengkap reaktor kontrol selama 14 hari. Berikut visualisasi *chamber* pada 9 reaktor ukuran 1000 mL **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



Gambar 1. Desain reaktor uji rasio C:N mikroalga *Dunaliella* sp.



Gambar 2. Reaktor digunakan untuk pengujian penelitian di laboratorium

Keterangan

A: Ruang 1 untuk intensitas cahaya 4000 lux

B: Ruang 2 untuk intensitas cahaya 2000 lux (kontrol)

C: Ruang 3 untuk intensitas cahaya 6000 lux

Tahapan pada penelitian ini dengan munculnya ide penelitian dari analisis kondisi eksisting dengan kondisi ideal pada objek penelitian kondisi air terkontaminasi timbal mencapai 1 mg/L. Dengan uji rasio C:N yang tepat dan seimbang agar keberhasilan fikoremediasi mendapat efisiensi tertinggi. Data didapatkan dari hasil percobaan menggunakan reaktor rasio C:N 100:7, 100:13, 100:32, variasi penambahan mikroalga *Dunaliella* sp. dan intensitas cahaya 2000, 4000, 6000 lux kondisi percobaan secara lengkap pada **Gambar 3**. Bahan dan alat yang diperlukan adalah akuades, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, mikroalga, pupuk walne, vitamin, *trace metal*, glukosa, urea, Tuya *smart detector* (pH, salinitas, suhu), Spektrofotometer Serapan Atom, aerator, lampu LED putih, lux meter, tabung silinder ukuran 1 L, selang diameter 4 mm, *infraboard* putih, DO Meter, CO_2 Meter, *centrifuge*. Volume kerja tabung silinder adalah 900 mL dari 1000 mL. Untuk suplai oksigen dalam pertumbuhan mikroalga ini menggunakan aerator agar mempercepat penyerapan nutrisi oleh mikroalga dan homogen. Mikroalga ditambahkan 10% pada setiap reaktor dan 90% media air limbah artifisial dengan variasi C dan N. Larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ditambahkan sebanyak 0,81 mL atau 1mg/L.

Selama pengamatan akan dihitung parameter dari setiap percobaan yaitu kepadatan dan laju pertumbuhan sel mikroalga sel/mL dengan rumus (Elystia *et al.*, 2019).

$$\text{Kepadatan sel mikroalga (sel/mL)} = \frac{\text{jumlah total sel dalam}}{\text{jumlah kotak hemositometer}} \times \text{fp} \quad (1)$$

Keterangan:

Fp = Volume akhir pengenceran akuades (10 mL) / volume sampel sel (1mL)
 Jumlah kotak hemositometer = 5 kotak

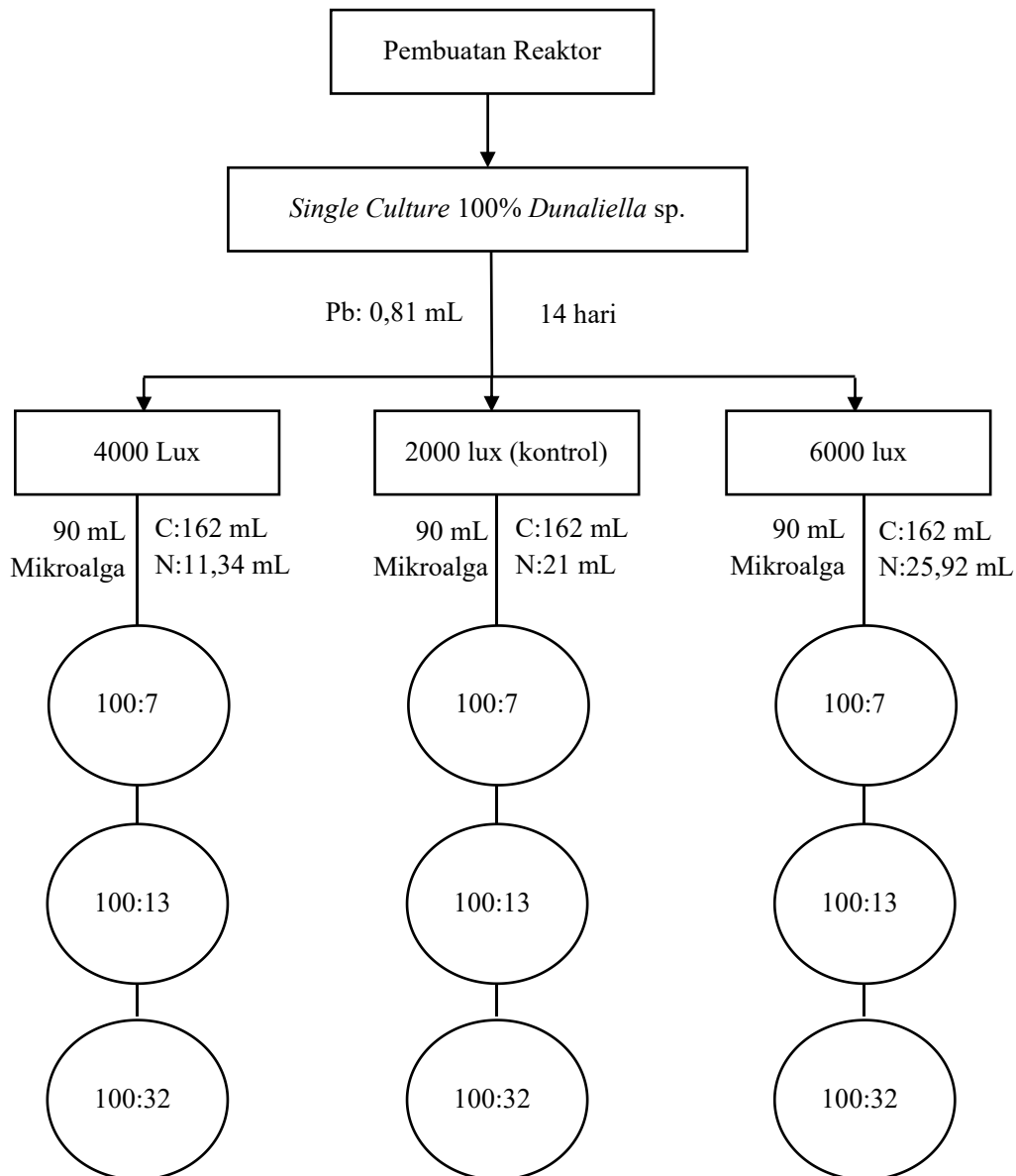
Di mana fp merupakan volume akhir pengenceran akuades (10 mL) dibagi volume sampel sel (1mL). Jumlah kotak hemositometer: 5 kotak. Sedangkan rumus laju pertumbuhan sel (Elystia *et al.*, 2019).

$$\text{Laju pertumbuhan sel } (\mu) = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{\Delta t} \quad (2)$$

Dengan X_2 adalah jumlah sel pada fase eksponensial (sel/mL), X_1 sebagai jumlah sel awal (sel/mL) dan Δt menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk meningkatkan konsentrasi dari X_1 hingga X_2 . Formula atau rumus dalam menentukan efisiensi absorpsi timbal oleh sel mikroalga yaitu (Muria *et al.*, 2020).

$$\text{Efisiensi penyisihan } (\eta) = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

Pada η menunjukkan efisiensi penyerapan timbal (%) dan C_0 dan C_1 adalah konsentrasi awal timbal (mg/L) dan konsentrasi akhir timbal setelah absorpsi (mg/L). Berikut detail kondisi percobaan yang dilakukan dengan 9 reaktor dan 3 diantaranya sebagai reaktor kontrol tanpa penambahan konsentrasi Pb.



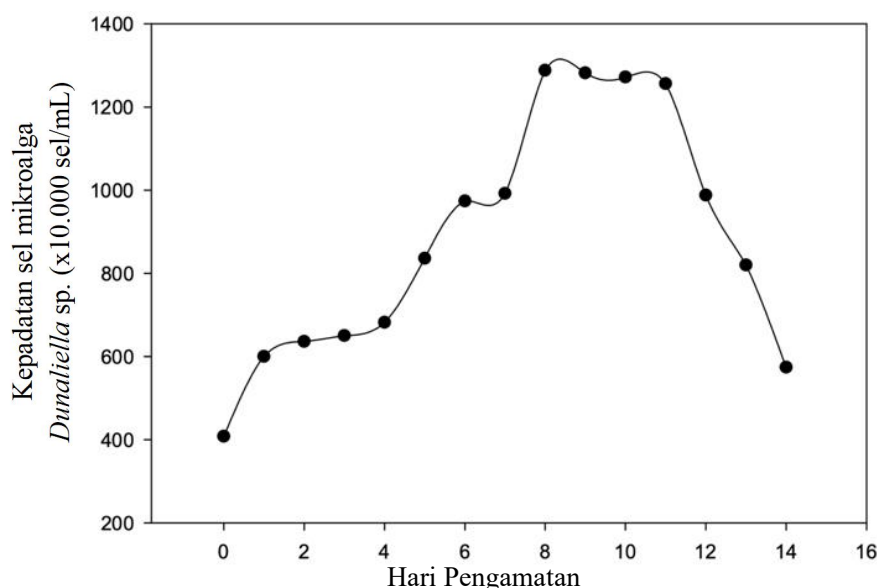
Gambar 3. Diagram alir percobaan utama

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tahap Propagasi

Propagasi dilakukan pada mikroalga *Dunaliella* sp. Terjadi perbedaan pertumbuhan pada saat propagasi pada dua spesies mikroalga walaupun sama dengan alga hijau. Propagasi dilakukan selama 7-8 hari untuk mendapatkan fase eksponensial mikroalga. Jumlah sel mikroalga *Dunaliella* sp. pada perbandingan 20% dengan 80% media tumbuh dapat menghasilkan kepadatan sel pada hari eksponensial $12,88 \times 10^6$ sel/mL. Selama propagasi ditambahkan nutrisi untuk mendukung pertumbuhan mikroalga dengan walne, vitamin dan *trace metal*. Pencahayaan sekitar 2000 lux dengan aerasi 3 L/menit. Pencahayaan selama 12 jam dan fase gelap 12 jam setiap hari. Berikut grafik hasil propagasi kepadatan sel mikroalga selama 14 hari.

Berdasarkan grafik kepadatan sel mikroalga *Dunaliella* sp. **Gambar 4.** tahap propagasi 14 hari didapatkan fase eksponensial pada hari ke 8. Faktor dari kondisi media dapat mempengaruhi hasil dari propagasi seperti parameter salinitas CO_2 , pH dan Suhu. Pada hari ke 9 mikroalga mulai pada fase stasioner dan lanjut fase kematian hingga hari ke 14. Selama proses propagasi awalnya media diberikan nutrisi seperti walne, *trace metal*, dan vitamin untuk mendukung dalam pertumbuhan mikroalga. Menghasilkan laju pertumbuhan 5,80 sel/mL/hari pada hari ke 0 hingga 8 pada fase ekponensial.



Gambar 4. Kepadatan sel mikroalga *Dunaliella* sp. saat propagasi

Perbedaan penyesuaian (fase *lag*) dengan mikroalga hijau lainnya seperti *Chlorella* sp. pada media tumbuh, mikroalga *Dunaliella* sp. memiliki waktu dalam mencapai fase eksponensial lebih lama. Selain itu, bentuk penyesuaian media tumbuh oleh mikroalga ini dengan cara penggumpalan atau agregasi sel. Hal ini merupakan respon wajar adanya ketersediaan nutrisi yang melimpah dan membuat sel tersebut meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi dengan menyatu sama lain (Khairuddin dan Sahabuddin, 2013). *Dunaliella* sp. selama fase *lag* atau penyesuaian menunjukkan suhu yang turun dari hari ke 0 yaitu 28,7 °C menjadi 27,7 °C pada hari ke 3. Didapatkan pH terendah 6,91 pada hari ke 1 dan tertinggi pada hari ke 13 yaitu 8,13. Mikroalga memiliki potensi dalam mengurangi emisi CO₂ di atmosfer (Yani *et al*, 2023). Jika di analisis segi pemanfaatannya mikroalga, gas CO₂ yang diserap merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global (Santoso *et al*, 2011).

3.2 Percobaan Utama

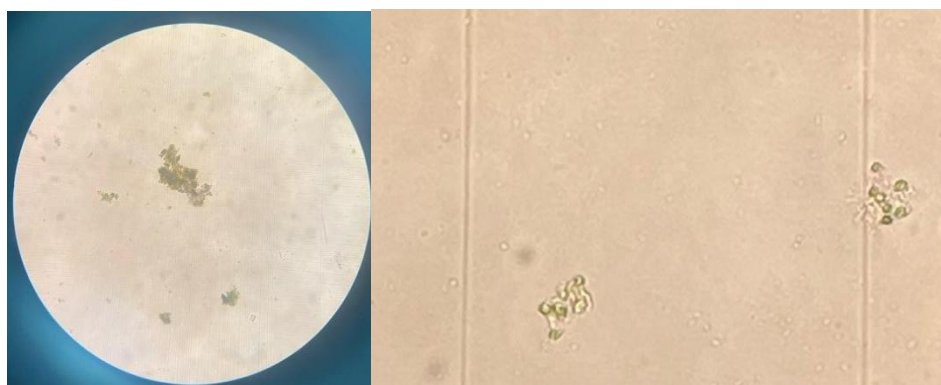
Pada percobaan utama ini dalam penyisihan Pb dengan 100% jenis mikroalga *Dunaliella* sp. Laju pertumbuhan paling besar menggunakan rasio C:N 100:32 dengan intensitas cahaya 6000 lux yaitu 4,48 sel/mL/hari. Diperoleh kepadatan sel rata-rata 535 x 10.000 sel / mL. Dengan reaktor kontrol hampir tidak beda jauh yaitu 543 x 10.000 sel / mL kepadatan selnya dan laju pertumbuhan 4,84 sel/mL/hari. Laju pertumbuhan terendah pada rasio C:N 100:7 dengan intensitas cahaya 4000 lux yaitu 4,55 sel/mL/hari. Diperoleh kepadatan sel rata-rata 378 x 10.000 Sel / mL. Berikut detail kepadatan sel dan laju pertumbuhan sel mikroalga *Dunaliella* sp. selama 14 hari percobaan **Tabel 1**.

Tabel 1. Data uji rasio C:N terhadap pertumbuhan sel mikroalga *Dunaliella* sp.

Rasio C:N	100:7			100:13			100:32		
Intensitas cahaya	2000 lux	4000 lux	6000 lux	2000 lux	4000 lux	6000 lux	2000 lux	4000 lux	6000 lux
Kepadatan sel (x 10.000 Sel / mL)									
Hari ke 0	188	136	102	202	210	194	92	252	164
Hari ke 3	228	312	148	236	274	290	152	278	172
Hari ke 5	556	474	368	242	250	532	572	636	574
Hari ke 6	590	484	332	792	390	948	710	556	644
Hari ke 10	432	370	620	664	500	700	866	498	762
Hari ke 12	498	444	478	490	438	488	590	490	566
Hari ke 14	272	230	236	376	322	360	422	326	378

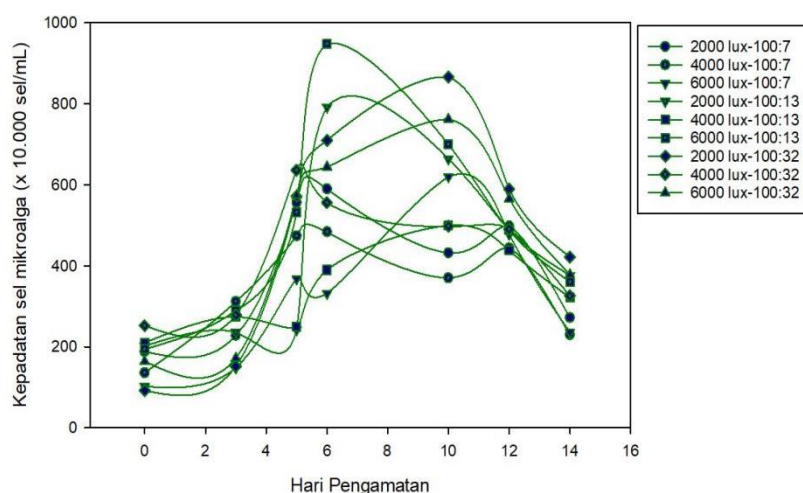
Rasio C:N	100:7			100:13			100:32		
Intensitas cahaya	2000 lux	4000 lux	6000 lux	2000 lux	4000 lux	6000 lux	2000 lux	4000 lux	6000 lux
Laju Pertumbuhan Sel									
μ (sel/mL/hari)	4,60	4,55	4,59	4,65	4,57	4,59	4,84	4,66	4,80

Kepadatan sel mulai meningkat pada hari ke 0 akibat ketersediaan nutrisi yang dimanfaatkan mikroalga untuk bertumbuh. Mikroalga aktif memanfaatkan sumber karbon dari glukosa sebagai sumber energi untuk respirasi. Energi yang dihasilkan dari respirasi untuk biosintesis dan reproduksi. Adaptasi mikroalga *Dunaliella* sp. terhadap lingkungan yang baru dengan agregasi antar sel. Berikut bentuk agregasi sel mikroalga *Dunaliella* sp. jika dilihat pada mikroskop **Gambar 5**.



Gambar 5. Sel mikroalga *Dunaliella* sp. saat agregasi pada hari awal pengamatan

Selama agregasi tersebut mikroalga *Dunaliella* sp. aktif fotosintesis dan pertumbuh hingga hari ke 6. Hari ke 3 hingga hari ke 6 warna mikroalga transparan menuju warna kuning hal ini diakibatkan adaptasi dari mikroalga. Struktur sel dari mikroalga ini dibandingkan dengan jenis mikroalga lainnya adalah memiliki *flagella* yang digunakan untuk mobilisasi gerak sel pada **Gambar 5**. Walaupun hal ini terjadi mikroalga ini mempersiapkan dan tetap bertumbuh dapat dilihat pada hari ke 10. Warna mikroalga menghitam pada intensitas cahaya 6000 lux pada rasio C:N 100:32 dibandingkan 4000 lux C:N 100:32. Hal ini disebabkan mikroalga sudah *settle* dan homogen dengan media baru dan aktif metabolisme. Hari ke 14 mikroalga tambah menghitam hasil pertumbuhan dari hari hari sebelumnya dan agregasi sudah tidak terjadi lagi. Dibandingkan reaktor kontrol intensitas cahaya 4000 lux dan 600 lux rasio C:N 100:32 hampir sama secara fisik warna mikroalga lebih hijau.



Gambar 6. Kepadatan sel mikroalga *Dunaliella* sp. saat percobaan utama

Berdasarkan **Gambar 6**, kepadatan sel mikroalga mulai mengalami kenaikan jumlah sel. Hal ini menandakan bahwa sel mikroalga aktif melakukan fotosintesis dan bertumbuh. Rata rata kepadatan sel saat percobaan utama oleh *Dunaliella* sp. ini memberikan hasil yang sedikit unik. Berdasarkan hasil uji menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometri*) penyisihan Pb tertinggi didapatkan 77% dengan rasio C:N 100:32 intensitas cahaya 6000 lux dari 1 mg/L menjadi 0,23 mg/L. Efisiensi penyisihan Pb tersebut dicapai dengan kepadatan sel 378×10.000 sel/mL pada hari ke 14. Efisiensi penyisihan Pb terendah pada nilai 30% dengan intensitas cahaya 4000 lux rasio nutrisi C:N 100:7 dari konsentrasi Pb 1 mg/ menjadi 0,7 mg/L. Pengujian ini didukung dengan analisis uji statistik ANOVA *analysis of variance* rasio C:N terhadap variabel respon ini didapatkan hasil *p-value* yang signifikan. Hasil penelitian dinyatakan signifikan jika nilai *p-value* kurang dari alfa 0,05. Variabel bebas kepadatan sel dengan rasio C:N dan intensitas cahaya didapatkan nilai *p-value* nilai 0,001, laju pertumbuhan sel 0,008, dan penyisihan Pb 0,018. Oleh karena itu variabel respon tersebut terdapat perbedaan nyata dengan variabel bebas.

Tabel 2. Hasil *analysis of variance* ANOVA variabel bebas terhadap variabel respon

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>Adj MS</i>	<i>F-Value</i>	<i>P-Value</i>
Kepadatan sel					
Rasio C:N	2	17622,7	8811,3	64,55	0,001
Intensitas Cahaya	2	5894,3	2947,2	21,59	0,007
Error	4	546,0	136,5		
Total	8	24063,0			
Laju Pertumbuhan sel					
Rasio C:N	2	0,062067	0,031033	19,81	0,008
Intensitas Cahaya	2	0,046467	0,1233	9,26	0,046
Error	4	0,006267	0,001567		
Total	8	0,114267			
Efisiensi penyisihan Pb					
Rasio C:N	2	0,9287	0,4643	13,83	0,018
Intensitas Cahaya	2	0,53520	0,26760	22,05	0,007
Error	4	0,04853	0,01213		
Total	8	1,512			

Hal ini didukung penelitian terdahulu bahwa mikroalga mampu menurunkan konsentrasi timbal hingga di atas 76% (Ling *et al.*, 2021). Keseimbangan rasio C:N yang optimal bagi mikroalga *Dunaliella* sp. untuk memanfaatkan C:N untuk penyisihan Pb pada rasio 100:32. *Dunaliella* sp. membutuhkan nitrogen tinggi dalam sintesis protein metalitinein yang digunakan untuk penyisihan Pb (Hentati *et al.*, 2024). Parameter CO₂ yang dihasilkan pada percobaan utama pada awal 1-6 mengalami penurunan yang menandakan bahwa mikroalga aktif memanfaatkan CO₂ untuk fotosintesis dari 900 ppm ke 486 ppm. Hasil dari pengukuran DO pada hari ke 1 mulai naik sebagai contoh pada rasio C:N 100:32 dengan 6000 lux.

Intensitas cahaya yang diberikan pada reaktor mempengaruhi jumlah sel mikroalga dan mempengaruhi juga dalam aktivitas penggunaan nutrisi C:N sebagai sumber energi. Seperti pada hasil dengan 6000 lux mikroalga dapat tumbuh dengan banyak. Hal ini disebabkan kondisi optimal pertumbuhan mikroalga ini antara 2000-6000 lux (Padang *et al.*, 2018). Lampu TL tersebut sebagai pengganti sinar matahari sumber untuk proses fotosintesis mikroalga skala laboratorium. Pada penelitian terdahulu penyisihan Pb ini mencapai 76% dari konsentrasi Pb 1 mg/L menjadi 0,24 mg/L (Gao *et al.*, 2024). Hasil penelitian ini secara keseluruhan hampir sama dengan intensitas cahaya lebih dari 3000 lux, pH 7-8, dan pencahayaan fase gelap 12 jam dan 12 jam terang.

Pada hari ke 5-8, dimana hasil dari fotosintesis mikroalga yaitu oksigen tersedia naik ke 6,97 mg/L pada hari ke 8. Pada konsentrasi bikarbonat ini untuk mengonfirmasi adanya sel mikroalga aktif menggunakan karbon untuk pertumbuhan sel. Jika bikarbonat turun maka *Dunaliella* sp. pada reaktor hidup dan bertambah. Salinitas

dihasilkan pada kondisi optimal dalam penyisihan Pb tersebut pada rentang salinitas 9.980 ppm-13.000 ppm. Kondisi salinitas tersebut masih pada kondisi lingkungan yang baik untuk pertumbuhan mikroalga *Dunaliella* sp.

Meskipun adanya sedikit kenaikan konsentrasi bikarbonat, hal ini dipengaruhi faktor mekanisme metabolisme dan struktur sel mikroalga yang cenderung sensitif jika ada faktor luar yang tidak terkendali seperti suhu dan salinitas. Rentang nilai suhu yang dihasilkan pada suhu 29-31°C. Suhu yang terdeteksi masih pada batas aman untuk mikroalga hidup. Nilai pH dari percobaan utama ini meningkat dari hari ke 1 ke 14 secara garis besar. Hal ini menunjukkan peningkatan jumlah sel mikroalga. Oksigen yang dihasilkan membentuk OH⁻ jika interaksi dengan ion hidrogen (Ding *et al.*, 2020). Dalam penyisihan Pb ini menggunakan mikroalga *Dunaliella* sp. direkomendasikan untuk air payau yang memiliki di atas 500 ppm dan mengandung nutrisi C:N 100:32 agar lebih optimal. Mekanisme peran penggunaan protein dalam metabolisme ini yang menyebabkan adanya perbedaan dalam penyisihan Pb (Purnawati *et al.*, 2015). Berikut hasil penyisihan Pb dengan variasi rasio C:N dan intensitas cahaya disajikan pada **Tabel 3** dilengkapi reaktor kontrol konsentrasi Pb 0 mg/L pada intensitas cahaya 2000 lux.

Tabel 3. Efisiensi penyisihan Pb dengan variasi C:N oleh mikroalga *Dunaliella* sp.

Rasio C:N	Intensitas Cahaya (lux)	Efisiensi penyisihan Pb <i>Dunaliella</i> sp.
100:7	2000(kontrol)	100,00%
100:7	4000	30,00%
100:7	6000	36,00%
100:13	2000(kontrol)	100,00%
100:13	4000	40,00%
100:13	6000	49,00%
100:32	2000(kontrol)	100,00%
100:32	4000	62,00%
100:32	6000	77,00%

Pada **Tabel 3** hasil penyisihan Pb oleh mikroalga *Dunaliella* sp. selama 14 hari, efisiensi penyisihan Pb antar variasi rasio C:N yang ditambahkan berbeda. Oleh karena itu, ketersediaan nutrisi merupakan hal yang sangat penting untuk menunjang keberhasilan fikoremediasi logam berat Pb oleh mikroalga. Dengan adanya nutrisi tercukupi mikroalga mampu bertumbuh dan proses metabolisme lancar. Pasokan energi untuk mikroalga dalam menghadapi dan menyisihkan Pb pada kondisi nutrisi tertentu. Maka kondisi nutrisi yang tepat dan seimbang untuk mencapai tujuan penyisihan Pb pada rasio C:N 100:32 dengan pencahayaan 6000 lux.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan hasil rasio C:N yang seimbang pada mikroalga *Dunaliella* sp. yaitu menghasilkan kepadatan sel rata-rata selama 14 hari pada rasio C:N 100:32 intensitas cahaya 6000 lux adalah 535,43 x10.000 sel/mL dan laju pertumbuhan rata-rata 4,80 sel/mL/hari. Keseimbangan rasio C:N didapatkan menandakan nilai tersebut optimal bagi mikroalga dalam bertumbuh dan dalam kondisi parameter lingkungan yang mendukung. Efisiensi biosorpsi Pb oleh mikroalga *Dunaliella* sp. pada rasio C:N 100:32 intensitas cahaya 6000 lux dengan penyisihan Pb hingga 77% dari konsentrasi awal 1 mg/L menjadi 0,23 mg/L dengan kepadatan sel 378 x 10.000 sel/mL pada hari ke 14. Secara statistik uji ANOVA hasil pengamatan ini dinyatakan signifikan antar variabel bebas dan variabel respon. Ada perbedaan nyata antar rasio C:N dan intensitas cahaya terhadap kepadatan sel dan penyisihan Pb. Kepadatan jumlah sel mikroalga yang dihasilkan dari variasi rasio C:N mempengaruhi hasil persen penyisihan Pb dan faktor lingkungan juga mempengaruhi keberhasilan penurunan konsentrasi Pb seperti salinitas, pH, suhu, oksigen terlarut, CO₂, dan konsentrasi bikarbonat. Oleh karena itu, berdasarkan uji parameter lingkungan dan uji fikoremediasi oleh mikroalga *Dunaliella* sp. dapat direkomendasikan untuk media air terkontaminasi Pb yang memiliki kondisi salinitas di atas 500 ppm seperti air payau dan mengandung nutrisi C:N 100:32 dan intensitas cahaya 6000 lux.

DAFTAR PUSTAKA

- Ding, G. T., Mohd Yasin, N. H., Takriff, M. S., Kamarudin, K. F., Salihon, J., Yaakob, Z., & Mohd Hakimi, N. I. N. (2020). Phycoremediation of palm oil mill effluent (POME) and CO₂ fixation by locally isolated microalgae: *Chlorella sorokiniana* UKM2, *Coelastrella* sp. UKM4 and *Chlorella pyrenoidosa* UKM7. *Journal of Water Process Engineering*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101202>.
- Dyniari, Y. I. P., Farikhah, F., & Rahim, A. R. (2019). Dinamika populasi *C. vulgaris* dalam paparan logam berat Pb (PB) dengan konsentrasi yang berbeda skala laboratorium. *Jurnal Perikanan Pantura (JPP)*, 2(1), 42–50. <http://dx.doi.org/10.30587/jpp.v2i1.810>.
- Elystia, S., Muria, R., & Pertiwi, I. (2019). Pemanfatan mikroalga *Chlorella* sp untuk produksi lipid dalam media limbah cair hotel dengan variasi rasio C:N dan panjang gelombang cahaya. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 25-43.
- Gao, M., Ling, N., Tian, H., Guo, C. & Wang, Q. (2024). Toxicity, physiological response, and biosorption mechanism of *Dunaliella salina* to copper, lead, and cadmium. *Front. Microbiol.* 15,1374275. doi: 10.3389/fmicb.2024.1374275.
- Greeshma, K., Kim, H. S., and Ramanan, R. (2022). The emerging potential of natural and synthetic algae-based microbiomes for heavy metal removal and recovery from wastewaters. *Environ. Res*, 215(114238).
- Hala, Y., E. Suryati & P. Taba. (2012). Biosorpsi Campuran Logam Pb²⁺ dan Zn²⁺ oleh *Chaetoceros calcitrans*. *Chemistry Progress*, 5(2),86-92.
- Hentanti, O., Hlima, H., B., Drira, M., Elleuch, F., Tounsi, L., Michaud, P., Abdelkafi, S. (2024). Exploring Metalloprotease from *Dunaliella* sp.: Production, Regulation, and Structural Insight. *Applied sciences*,14,10402, <https://doi.org/10.3390/app142210402>.
- Khairuddin & Sahabuddin. (2013). Komposisi nutrisi dan pertumbuhan mikroalga *Chaetoceros Gracilis* yang di kultur pada berbagai konsentrasi karbondioksida. *Jurnal galung tropika*, 2(2),106-115.
- Khanam, R., Kumar, A., Nayak, A. K., Shahid, M., Tripathi, R., Vijayakumar, S. (2020). Metal (loid)s (as, hg, se, pb and cd) in paddy soil: bioavailability and potential risk to human health. *Sci. Total Environ.* 699(134330).
- Kristiawan, Onie, Lintang Agustin, Zenitha, Aliya Hanupurti, Dhiti, Nirwawan, Rino, Hendrayanti, Dian. (2018). The Influence of Bicarbonate Microalgae *Nannochloropsis* sp. Growth as Biomass Resources of Biofuel. *Publikasi minyak dan gas bumi*, 52(2), 3-5.
- Ling, N., Li, W., Xu, G., Qi, Z., Ji, C., Liu, X. (2021). Transcriptomic sequencing reveals the response of *Dunaliella salina* to copper stress via the increased photosynthesis and carbon mechanism. *Mol. Omics*,17, 769–782.
- Liwun, R.R., L.I.M. Yulianti & B.R. Sidharta. (2020). Potensi *Skeletonema costatum* (Greville) sebagai Fikoremediator Logam Berat Pb (Pb) Limbah Batik. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 5(1),16-24.
- Muria, S., R., Chairul, Naomi, D., C. (2020). Pemanfaatan Mikroalga *Chlorella* sp. untuk pengolahan *palm oil mill effluent* secara fed batch. *Jurnal sains dan teknologi*, 19(10),7-12.
- Padang, Anita, Lestaluhu, Abdurahim, Siding, Rosida. (2018). Pertumbuhan Fitoplankton *Dunaliella* sp dengan Cahaya Berbeda pada Skala Laboratorium. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 11(1).
- Pham, T., Dao, T., Bui, H., Pham, T., Ngo, T., & Bui, H. (2020). Lipid production combined with penyisihan and bioaccumulation of Pb by *Scenedesmus* sp. Green Alga. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1785-1791.
- Purnamawati, F.,S., Soeprbowati, T., R., Izzati, M. (2015). Potensi *Chlorella vulgaris* Beijerinck Dalam Remediasi Logam Berat Cd Dan Pb Skala Laboratorium, *Bioma*,16(2),102-113.
- Putriany, A., Widianingsih, W., Endrawati, H., & Hartati, R. (2023). Bioakumulasi Logam Berat Pb oleh *Chlorella vulgaris*. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(3), 395-402.
- Santoso, A., D., Darmawan, R., A., Susanto, J., P. (2011). Mikroalga untuk penyerapan emisi CO₂ dan pengolahan limbah cair di lokasi industri. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3(2), 62-70.
- Yani, R., Dharma, A., Rilda, Y. (2023). Pengaruh Gas CO₂ Terhadap Pertumbuhan, Kandungan Asam Lemak, Lipid, dan Karotenoid Total *Chlorella emersoni*. *Jurnal ilmu lingkungan*, 21(2),245-250.