

**KEMAMPUAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AGEN
FICOREMEDIASI TERHADAP PERUBAHAN
NITRAT dan FOSFAT**

SKRIPSI

KEVIN MARINUS SAKLIRESY

L031 19 1056



**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN
DEPARTEMEN PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**KEMAMPUAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AGEN
FICOREMEDIASI TERHADAP PERUBAHAN NITRAT dan
FOSFAT**

KEVIN MARINUS SAKLIRESY
L031191056

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Ilmu
Kelautan dan Perikanan



**PROGRAM STUDI PEMANFAATAN SUMBERDAYA
PERIKANAN
DEPARTEMEN PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

**KEMAMPUAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AGEN FICOREMEDIASI TERHADAP
PERUBAHAN NITRAT dan FOSFAT**

Disusun dan diajukan oleh

Kevin Marinus Sakliresy

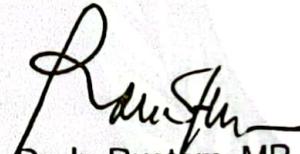
L03119 1056

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Budidaya Perairan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin pada Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,



Dr. Ir. Badraeni, MP.
NIP. 196510231991032001



Dr. Ir. Rustam, MP.
NIP. 195912311987021010

Mengetahui ,

Ketua Program Studi



Dr. Andi Allah Hidayani, S.Si., M.Si.
NIP. 198005022005012002

Tanggal Pengesahan :

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kevin Marinus Sakliresy

NIM : L031191038

Program Studi : Budidaya Perairan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

KEMAMPUAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AGEN FICOREMEDIASI TERHADAP PERUBAHAN NITRAT dan FOSFAT

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 22 Maret 2024

Yang menyatakan



Kevin Marinus Sakliresy

PERNYATAAN AUTHORSHIP

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Keviin Marinus Sakliresy
NIM : L031191056
Program Studi : Budidaya Perairan
Fakultas : Ilmu Kelautan dan Perikanan

Menyatakan bahwa publikasi sebagian atau keseluruhan isi Skripsi/Tesis/Disertasi pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seizin dan menyertakan tim pembimbing sebagai author dan Universitas Hasanuddin sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya dua semester (satu tahun sejak pengesahan Skripsi) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan Skripsi ini, maka pembimbing sebagai salah seorang dari penulis berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang ditentukan kemudian, sepanjang nama mahasiswa tetap diikutkan.

Makassar, 22 Maret 2024

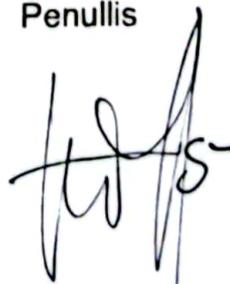
Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dr. Andi Aliah Hidayani, S.Si., M.Si.
NIP. 198005022005012002

Penulis



Kevin Marinus Sakliresy
NIM. L031191056

ABSTRAK

Kevin Marinus Sakliresy, L031191056. "Kemampuan *Chlorella* Sp. Sebagai Agen Ficaremediasi Terhadap Perubahan Nitrat dan Fosfat" dibimbing oleh **Badraeni** sebagai Pembimbing Utama dan **Rustam** sebagai Pembimbing Pendamping.

Kegiatan akuakultur dapat menghasilkan produk limbah akuakultur, seperti kotoran dan pakan tidak terpakai yang dapat dikonversi secara proses bioremediasi oleh bakteri menjadi ion anorganik NO_3^- dan PO_4^{3-} yang dapat mencemari sumber air, pemanfaatan mikroalga *Chlorella* sp. sebagai agen ficoremediasi dengan memanfaatkan bahan seperti NO_3^- dan PO_4^{3-} sebagai sumber nutrisi tambahan untuk mereduksi produk limbah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kepadatan optimal *Chlorella* sp. terhadap efisiensi reduksi konsentrasi NO_3^- dan PO_4^{3-} dalam air. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pembenihan unit Mikroalga Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin. *Chlorella* sp. diuji selama 3 siklus pada gelas beaker bervolume 500 mL yang berisi larutan $\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4$ 0,64ppm dan NaNO_3 0,92 ppm. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) terdiri atas 3 perlakuan dan setiap perlakuan terdiri atas 3 ulangan sehingga terdapat 9 satuan percobaan. Adapun perlakuan kepadatan *Chlorella* sp. yang di uji dalam penelitian ini yaitu (A) 2×10^6 sel/mL, (B) 4×10^6 sel/mL, (C) 6×10^6 sel/mL. Hasil ANOVA memperlihatkan signifikansi 95% (P Value < 0,05). Hasil peneltian ini menunjukkan bahwa Efisiensi serapan NO_3^- tertinggi efektif terjadi pada perlakuan A dengan kepadatan 2×10^6 sel/mL dengan rata-rata penyerapan 82%. Efisiensi serapan PO_4^{3-} pada siklus I dan II tidak terjadi, namun pada siklus III efektif terjadi pada perlakuan A dengan kepadatan 2×10^6 sel/mL dengan rata-rata penyerapan $47,88 \pm 0,04\%$. Parameter kualitas air yang diamati selama penelitian semuanya layak untuk pertumbuhan *Chlorella* sp.

Kata kunci: Ficaremediasi, *Chlorella* sp., Serapan, Nitrat, Fosfat

ABSTRACT

Kevin Marinus Sakliresy, L031191056. "The Capability of *Chlorella* Sp. as a Phycoremediation Agent Against Changes in Nitrate and Phosphate," supervised by **Badraeni** as the Main Advisor and **Rustam** as the Co-Advisor.

Aquaculture activities can produce aquaculture waste products, such as unused feed and feces that can be converted through bioremediation processes by bacteria into inorganic ions NO_3^- and PO_4^{3-} which can contaminate water sources. The utilization of the microalgae *Chlorella* sp. as a phycoremediation agent involves using substances like NO_3^- and PO_4^{3-} as additional nutrient sources to reduce waste products. This study aims to analyze the optimal density of *Chlorella* sp. in relation to the efficiency of reducing NO_3^- and PO_4^{3-} concentrations in water. The study was conducted in the Microalgae Technology Hatchery Laboratory of the Faculty of Marine Science and Fisheries at Hasanuddin University. *Chlorella* sp. was tested over three cycles in 500 mL beaker glasses containing solutions of 0.64 ppm $\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4$ and 0.92 ppm NaNO_3 . The study used a Completely Randomized Design (CRD) consisting of 3 treatments, each with 3 replications, thus forming 9 experimental units. The treatments of *Chlorella* sp. densities tested in this study were (A) 2×10^6 cells/mL, (B) 4×10^6 cells/mL, (C) 6×10^6 cells/mL. The ANOVA results showed a 95% significance (P Value < 0.05). The findings indicate that the highest NO_3^- absorption efficiency effectively occurred in treatment A with a density of 2×10^6 cells/mL, with an average absorption of 82%. PO_4^{3-} absorption efficiency in cycles I and II did not occur, but in cycle III it effectively occurred in treatment A with a density of 2×10^6 cells/mL, with an average absorption of $47.88 \pm 0.04\%$. The water quality parameters observed during the study were all suitable for the growth of *Chlorella* sp.

Keywords: Phycoremediation, *Chlorella* sp., Absorption, Nitrate, Phosphate

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa berkat karunia dan hidaya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “**KEMAMPUAN *Chlorella* sp. SEBAGAI AGEN FICOREMEDIASI TERHADAP PERUBAHAN NITRAT dan FOSFAT**”. sebagai salah satu persyaratan studi S1 (Strata Satu) di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Departemen Perikanan, Program studi Budidaya Perairan Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini telah banyak pihak yang membantu dalam bentuk apapun itu. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak dengan segala keikhlasannya yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak **Aloysius Sakliresy** dan ibu **Ona Viana** yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk merasakan pendidikan hingga saat ini dan selalu mendukung serta memberikan motivasi dan doa yang tak terhingga. Dengan sepenuh hati penulis berterima kasih atas semua hal yang telah diberikan, karena penulis sadar segala hal baik yang terjadi sampai sekarang adalah berkat doa dan devosi dari mereka, Semoga masih ada kesempatan untuk membalasnya meskipun tidak sebanding dengan apa yang telah diberikan.
2. Kepada adik penulis **Vany dan Vincent** yang telah membantu penulis dalam hal materi maupun non-materi, memberikan semangat dan doa yang tak pernah putus. serta kasih sayang yang sangat besar. Penulis sangat bersyukur memiliki kalian. Semoga kelak penulis mampu membalas kebaikannya.
3. Ibu **Prof Dr. Ir. Siti Aslamyah, MP.** selaku Wakil Dekan I Bidang Akademik dan Pengembangan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Dr. Fahrul, S.Pi.,M.Si.** selaku Ketua Departemen Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.
5. Ibu **Dr. Andi Aliah Hidayani, S.Si., M.Si.** selaku Ketua Program Studi Budidaya Perairan Universitas Hasanuddin.
6. Dosen pembimbing Utama **Dr. Ir. Badraeni, MP.** yang telah memberikan

bimbingan yang sangat luar biasa, begitu sabar dan tulus hingga meluangkan waktu dalam membimbing penulis dalam menuntaskan penelitian, dan selalu memberikan banyak pelajaran luar biasa sehingga penulis menjadikannya motivasi. Penulis berharap semoga sehat selalu sekeluarga dan panjang umur. Semoga Allah membalas segala bentuk kebaikan ibu dengan kebaikan yang berlipat ganda, aamiin.

7. Pembimbing Pendamping **Dr. Ir Rustam, MP.** yang selalu bersedia memberikan saran dan masukan kepada penulis. Terima kasih atas segala keikhlasan, ketulusan, kesabaran selalu memberikan banyak pelajaran serta cerita hidup yang luar biasa sehingga penulis menjadikannya motivasi. Penulis berharap semoga sehat selalu sekeluarga dan panjang umur. Semoga Allah membalas segala bentuk kebaikan bapak dengan kebaikan yang berlipat ganda, aamiin.
8. Ibu **Prof Dr. Ir. Siti Aslamyah, MP.** selaku Pembimbing Akademik penulis sekaligus penguji yang telah membimbing selama perkuliahan dan memberi saran serta masukan dalam penelitian penulis. Semoga Allah membalas segala bentuk kebaikan ibu dengan kebaikan yang berlipat ganda, aamiin.
9. Bapak **Ir. Abustang, M.P** selaku penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan masukan serta saran dalam penelitian penulis. Semoga Allah membalas segala bentuk kebaikan bapak dengan kebaikan yang berlipat ganda, aamiin.
10. Bapak dan Ibu dosen, serta staf pegawai Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin yang telah membantu selama proses perkuliahan baik dari segi ilmu, pengalaman serta administrasi penulis.
11. Kepada **Valensi Febriani Kaloli** yang sangat membantu penulis dalam banyak hal mulai dari mendoakan, memotivasi, membimbing, menjaga, mengingatkan, direpotkan dan masih banyak lagi, penulis sangat bersyukur telah dipertemukan dengan mu yang selalu sabar menghadapi keluh kesah yang penulis alami.
12. Kepada **Ferdian Patulak, S.Si** dan **Eplysius, S.Si** yang telah menemani, mendukung dan mendoakan segala proses perkuliahan, penelitian dan penyusunan skripsi
13. Teman-teman **BANDARAYA 2019** yang telah mendukung dan mendoakan segala proses penelitian dan penyusunan skripsi.

14. Teman-teman **BDP 2019** yang telah mendukung dan mendoakan segala proses penelitian dan penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan penulis selama penelitian dan penyusunan Skripsi. Oleh karena itu, atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan Skripsi ini, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik dan saran dari berbagai pihak yang bersifat membangun ke arah yang lebih baik.

Makassar, 22 Maret 2024



Kevin Mariphus Sakliresy

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Kevin Marinus Sakliresy, lahir di Malili tanggal 7 Maret 2001 yang merupakan anak dari pasangan Bapak Aloysius Sakliresy dan Ibu Ona Vlana. Bertempat tinggal di Jalan Andi Djemma, Puncak Malili. Penulis merupakan mahasiswa SBMPTN Program studi Budidaya Perairan, Departemen Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar. Sebelumnya, penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan sekolah dasar di SDN 221 Malili, SMP Negeri 1 Malili dan SMA Negeri 1 Luwu Timur. Selama kuliah di Universitas Hasanuddin penulis mengikuti lembaga internal kampus yaitu sebagai Badan Pengurus Harian Keluarga Mahasiswa Katolik FMIPA Unhas, Badan Pengurus Harian UKM Keilmuan dan Penalaran Ilmiah Unhas, Badan Pengurus Harian UKM TENIS MEJA Unhas, Anggota Himpunan Mahasiswa Jurusan Keluarga Mahasiswa Perikanan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Serta aktif dalam kegiatan kepanitian yang ada dikampus.

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN SAMPUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
PERNYATAAN AUTORSHIP.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
RIWAYAT HIDUP.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan dan Kegunaan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Biologi <i>Chlorella</i> sp.....	4
B. Fosfat dan Nitrat.....	5
C. Dampak Akuakultur pada Perairan.....	8
D. Ficaremediasi oleh Mikroalga.....	9
III. METODE PENELITIAN.....	12
A. Waktu dan Tempat.....	12
B. Materi Penelitian.....	12
C. Prosedur Penelitian.....	12
D. Rancangan Penelitian.....	14
E. Parameter Penelitian.....	14
G. Analisis Data.....	16
IV. HASIL.....	17
A. Efisiensi Penyerpan Nitrat.....	17
B. Efisiensi Penyerpan Nitrat.....	18
C. Kepadatan <i>Chlorella</i> sp.....	19
D. Kualitas Air.....	22

V. PEMBAHASAN	23
A. Efisiensi Serapan Nitrat.....	23
B. Efisiensi Serapan Fosfat	24
C. Kepadatan <i>Chlorella</i> sp.....	26
D. Kualitas Air	27
VI. PENUTUP	29
A. Simpulan.....	29
B. Saran	29
LAMPIRAN	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Chlorella sp. (dokumentasi pribadi)	4
Gambar 2. Grafik kepadatan Chlorella sp. Pada siklus I.....	19
Gambar 3. Grafik kepadatan Chlorella sp. Pada siklus II.....	20
Gambar 4. Grafik kepadatan Chlorella sp. Pada siklus III.....	21

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rata-rata efisiensi penyerapan NO_3^-	17
Tabel 2. Rata-rata efisiensi penyerapan PO_4^{3-}	18
Tabel 3. Nilai rata-rata kualitas air pada media kultur <i>Chlorella</i> sp.	22

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Akuakultur atau budidaya perikanan telah menjadi industri yang semakin penting dalam memenuhi kebutuhan manusia akan produk perikanan. Berdasarkan data yang tersedia pada tahun 2021, produksi akuakultur dunia terus meningkat dari tahun ke tahun. Menurut laporan *State of the World Fisheries and Aquaculture* yang diterbitkan oleh Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) pada tahun 2022, produksi akuakultur global mencapai 88 juta ton pada tahun 2020. Tren meningkatnya produksi akuakultur dunia diperkirakan akan terus berlanjut di masa mendatang, mengingat permintaan konsumen yang terus meningkat serta kebutuhan untuk menghasilkan sumber protein (FAO, 2022). Namun seiring dengan peningkatan produksi, tentu hal ini pasti memiliki dampak negatif utamanya bagi lingkungan.

Kegiatan akuakultur dapat menghasilkan produk limbah akuakultur, seperti kotoran dan pakan tidak terpakai yang dapat dikonversi secara proses bioremediasi oleh bakteri menjadi ion anorganik Nitrat (NO_3^-) dan Fosfat (PO_4^{3-}) yang dapat mencemari sumber air. Limbah anorganik NO_3^- dan PO_4^{3-} akan meningkat seiring dengan konversi pakan yang rendah (Rahim, 2021).

Dalam budidaya udang super intensif dengan padat tebar yang tinggi, salah satu tantangan utama yang sering dihadapi sebagian besar pembudidaya adalah terkait dengan pengelolaan limbah organik seperti pakan yang tidak dikonsumsi sepenuhnya oleh udang, sisa ekskresi, serta residu lain seperti udang yang mati dan kulit yang terlepas. Pada kondisi limbah organik yang sangat padat terjadi proses dekomposisi di kolom air, proses dekomposisi ini menghasilkan peningkatan konsentrasi nutrisi buangan terutama NO_3^- dan PO_4^{3-} . Ketika air budidaya langsung dibuang ke perairan secara langsung tanpa adanya treatment remediasi pada air, sehingga pada perairan tertutup atau terbuka nutrisi tersebut digunakan oleh mikroalga, kemudian berkembang dan mempengaruhi peningkatan jumlah serta kepadatan bagi perairan pada kondisi ketersediaan cahaya yang cukup. Oleh karena itu pemanfaatan *treatment* remediasi dari kelebihan NO_3^- dan PO_4^{3-} pada limbah buangan akuakultur dinilai perlu (Supono, 2015). Pemilihan remediasi terbaik akan bergantung pada lingkungan dan kontaminan yang harus diperbaiki, oleh karena itu kondisi tersebut dapat

mempengaruhi kelayakan dan efisiensi (Kafle *et al.*, 2022). Salah satu metode yang dapat digunakan adalah Ficoremediasi menggunakan mikroalga.

Metode Ficoremediasi merupakan metode yang melibatkan penggunaan makroalga dan mikroalga sebagai agen bioabsorpsi serta melakukan biotransformasi ion anorganik NO_3^- dan PO_4^{3-} dari air limbah akuakultur menjadi biomassa. Dasar penerapan dari ficoremediasi adalah pemanfaatan mikroalga sebagai agen bioabsorpsi dan bioakumulasi dengan memanfaatkan bahan seperti nitrogen dan fosfor anorganik sebagai sumber nutrisi yang diperlukan untuk energi, pertumbuhan dan reproduksi mereka. Sehingga, mikroalga dapat digunakan untuk mengambil nitrogen dan fosfat anorganik dari air limbah. Dalam hal ini, mikroalga melakukan proses autotrofi dan mereduksi konsentrasi nutrisi anorganik di dalam air limbah, sehingga memperbaiki kualitas air secara alami dan ramah lingkungan (Priyadarshini *et al.*, 2021).

Penggunaan ficoremediasi ini memiliki banyak dampak positif karena menggunakan organisme yang bersifat alami dan tidak berbahaya bagi lingkungan sehingga tidak menimbulkan risiko pencemaran atau kerusakan lebih lanjut pada ekosistem air, selain itu tentu biaya operasional dan perawatan yang diperlukan untuk melakukan ficoremediasi cenderung lebih rendah dibandingkan dengan metode remediasi kimia atau fisik, disisi lain juga dapat meningkatkan kualitas air secara keseluruhan dan mengembalikan keseimbangan ekosistem air yang terganggu. Dalam beberapa kasus, Ficoremediasi juga dapat menghasilkan produk sampingan yang bernilai seperti biofuel ataupun sebagai pakan, yang dapat meningkatkan efisiensi dari segi ekonomi (Bwapwa, 2017).

Penelitian yang telah dilakukan telah menerapkan penggunaan mikroalga seperti *Chlorella* sp., *Chlamydomonas* sp., *Spirulina* sp., *Scenedesmus* sp., *Nannochloropsis* sp. dan *Oscillatoria* sp. sebagai remediator air limbah (Bwapwa *et al.*, 2017). *Chlorella* sp. menjadi salah satu yang paling banyak digunakan dalam aplikasi ficoremediasi karena kemampuannya dalam menyerap nutrisi berlebih, memiliki laju pertumbuhan yang tinggi, yang memungkinkan peningkatan biomassa secara cepat dan toleransinya terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi, termasuk perubahan pH dan konsentrasi untuk digunakan dalam berbagai jenis air limbah (Salgueiro *et al.* 2016; Abdell, 2007). Dalam penerapan *Chlorella* sp. sebagai ficoremediator air limbah, analisis kepadatan sel menjadi penting karena mempengaruhi efisiensi remediasi nutrisi. Kepadatan yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan pengurangan akses cahaya untuk fotosintesis dan

hipoksia akibat penurunan oksigen terlarut sehingga mengurangi efektivitas penyerapan polutan (Saccardo *et al.*, 2022). Sebaliknya, kepadatan yang terlalu rendah memperlambat proses bioremediasi dan nutrisi yang terserap juga sedikit. Sehingga, penentuan kepadatan optimal esensial untuk memaksimalkan efisiensi reduksi polutan sambil mempertahankan kelangsungan hidup dan pertumbuhan mikroalga.

Berdasarkan literatur hasil penelitian, maka dilakukan analisis kemampuan *Chlorella* sp. pada berbagai kepadatan sebagai agen fitoremediasi terhadap perubahan PO_4^{3-} dan NO_3^- .

B. Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kepadatan optimal *Chlorella* sp. terhadap efisiensi reduksi konsentrasi NO_3^- dan PO_4^{3-} dalam air .

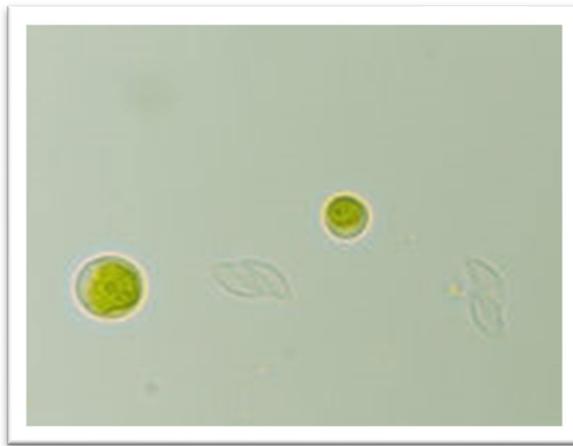
Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan kemampuan *Chlorella* sp. sebagai agen fitoremediasi dalam mereduksi konsentrasi NO_3^- dan PO_4^{3-} dalam air.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biologi *Chlorella* sp.

Klasifikasi *Chlorella* sp. menurut Andreyeva, V.M. (1975) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Filum : Chlorophyta
Kelas : Trebouxiophyceae
Ordo : Chlorellales
Famili : Chlorellaceae
Genus : Chlorella
Species : *Chlorella* sp.



Gambar 1. *Chlorella* sp. (dokumentasi pribadi)

Chlorella sp., sebuah mikroorganisme hijau bersel tunggal, telah ada sejak masa pre-Cambrian, kira-kira 2,5 miliar tahun yang lalu dengan nama yang berasal dari kata chloros yang berarti hijau dan ella berarti kecil. *Chlorella* menggambarkan organisme mikroskopis dengan warna hijau yang khas berasal dari kloroplas yang memungkinkan fotosintesis berlangsung (Safi, 2014).

Chlorella sp. merupakan mikroalga air bersel tunggal dengan ukuran antara 3-15 μm , biasanya berbentuk elips atau bulat. Berbeda dari tumbuhan kompleks, *Chlorella* tidak memiliki struktur seperti akar, batang, atau daun. Namun, organisme ini dilengkapi dengan inti sel, mitokondria, ribosom, dan kloroplas untuk fotosintesis, serta vakuola yang berperan dalam penyimpanan dan metabolisme (Aprilliyanti, 2016). *Chlorella* sp. bereproduksi secara aseksual melalui proses pembentukan autospora. Proses ini diawali dengan pembesaran sel induk, diikuti oleh akumulasi nutrisi dan memperbanyak komponen seluler seperti kloroplas

dan inti. Selanjutnya, inti sel menjalani mitosis, diikuti oleh sitokinesis, di mana sel induk membelah menjadi beberapa autospora kecil. Setelah pembentukan autospora ini, sel induk pecah dan melepaskan antara 2 hingga 16 spora, yang kemudian tumbuh menjadi sel-sel baru. Proses reproduksi ini menunjukkan adaptasi evolusi *Chlorella* dalam menghadapi berbagai kondisi lingkungan (Ibrahim et al., 2020).

Chlorella sp. melakukan metabolisme secara autotrofik yang mengandalkan fotosintesis dengan memanfaatkan cahaya matahari dan CO_2 untuk produksi glukosa yang digunakan sebagai sumber energi. Meskipun dapat membuat nutrisi sendiri, *Chlorella* tetap memerlukan nutrisi lain untuk pertumbuhan dan fungsi seluler yang optimal seperti NO_3^- yang adalah sumber nitrogen yang penting untuk mensintesis protein yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perbaikan sel. Selain itu PO_4^{3-} juga penting untuk sintesis DNA dan RNA, serta untuk pembuatan ATP (adenosin trifosfat) molekul energi utama dalam sel (Kim et al., 2013). Kemampuan dalam mereduksi NO_3^- dan PO_4^{3-} menjadikan *Chlorella* sp. disorot dalam pengolahan air limbah, menunjukkan potensi sebagai solusi berkelanjutan dalam manajemen limbah dan produksi biofuel (Boelee, 2013; Peter et al., 2021).

Sebuah studi oleh Boelee (2013) meneliti pemanfaatan *Chlorella vulgaris* dalam mengeliminasi NO_3^- dan PO_4^{3-} pada air limbah dengan konsentrasi nutrisi yang berbeda. Selama fase eksponensial percobaan, terjadi penyerapan NO_3^- dan PO_4^{3-} , konsentrasi kedua nutrisi ini menurun signifikan dan stabil selama 4 hingga 8 hari, mengindikasikan efektivitas *Chlorella* dalam proses fitoremediasi air.

B. Fosfat dan Nitrat

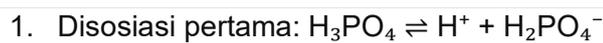
Dua nutrisi penting dalam lingkungan PO_4^{3-} dan NO_3^- , umumnya berasal dari sumber alami seperti erosi batuan dan dekomposisi materi organik. Namun, kegiatan manusia seperti pertanian, industri, dan pembuangan limbah domestik telah menjadi kontributor utama PO_4^{3-} dan NO_3^- di perairan (Ruttenberg, 2014). Mikroorganisme seperti bakteri dan mikroalga menggunakan fosfat PO_4^{3-} dan NO_3^- untuk pertumbuhan. Maka dari itu, keseimbangan PO_4^{3-} dan NO_3^- dalam ekosistem akuatik sangat penting. (Swandewi, 2017).

1) Fosfat

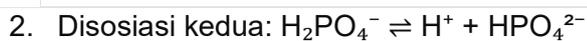
Secara umum Fosfat (PO_4^{3-}) terdiri atas atom fosfor (P) dan 4 atom oksigen (O_4). Karena sifat reaktif, fosfor di alam selalu terikat dalam bentuk fosfat, yang

merupakan bentuk yang stabil dan terdapat dalam bentuk ion fosfat di dalam air, salah satu dari Fosfor (P) yang paling umum dan penting, terutama bagi kehidupan organisme autotrofi karena berperan dalam berbagai proses nutrisi dan pertumbuhan (Saito, 2004).

Fosfat di perairan terdiri atas dua bentuk utama, yaitu fosfat organik dan fosfat anorganik terlarut. Fosfat organik, adalah fosfat yang terikat pada sisa-sisa organik seperti plankton dan jaringan organisme seperti dalam DNA, RNA, dan ATP sehingga tidak langsung tersedia untuk diserap oleh tumbuhan karena ia terikat dalam struktur organik kompleks. Sehingga Fosfat anorganik merupakan bentuk terlarut yang dapat langsung diambil oleh tumbuhan dan makhluk hidup lainnya (Brady and Weil, 2010). Fosfat anorganik berasal fosfat primer yang awalnya terikat pada batuan fosfat dalam bentuk mineral apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{Cl},\text{F})$) yang mengalami pelapukan dan melepaskan ion fosfat (PO_4^{3-}) ke dalam tanah dan air (Hanafiah, 2018). Dalam ekosistem air, fosfor anorganik terlarut sebagian besar berasal dari produk ionisasi asam ortofosfat (H_3PO_4). Lebih lanjut Boyd (2012) menyimpulkan bahwa Asam ortofosfat (H_3PO_4) adalah asam polibasa yang dapat melepaskan tiga proton (H^+) melalui tiga tahapan disosiasi. Setiap tahapan disosiasi memiliki konstanta kesetimbangan tersendiri (K_a).



Ka1 berkaitan dengan pelepasan proton pertama.
--



Ka2 berkaitan dengan pelepasan proton kedua.
--



Ka3 berkaitan dengan pelepasan proton ketiga.

Tidak ada bentuk H_3PO_4 yang tidak terionisasi yang berberarti bahwa dalam kebanyakan kondisi pH, asam fosfat ada dalam bentuk terionisasi yaitu monovalen (H_2PO_4^-) dan divalen (HPO_4^{2-}) tergantung pada keseimbangan pH, dan PO_4^{3-} mendominasi hanya dalam larutan yang sangat basa dengan pH 9.0 (Boyd, 2012). Pada pH yang asam di bawah 7.21, ion fosfat cenderung berada dalam bentuk monovalen (H_2PO_4^-). Pada pH yang basa 7.22 dan di atasnya, ion fosfat cenderung berada dalam bentuk divalen (HPO_4^{2-}) (Boguta and Sokolowska, 2012). Salah satu contoh aplikasi fosfat divalen yaitu Disodium Fosfat (Na_2HPO_4) digunakan dalam biosurfaktan yang berfungsi sebagai deterjen, emulsifier, pelumas, dan agen penstabil. (Kumar et al., 2017).

Fosfat sebagai unsur esensial di berbagai kegiatan akuakultur telah menghasilkan limbah yang sangat besar dengan jumlah fosfat yang tinggi. Pada tambak udang intensif, peningkatan akumulasi fosfat (PO_4^{3-}) terjadi karena bahan organik sebagai hasil dari pemberian pakan yang berlimpah selama periode pemeliharaan yang kemudian terdekomposisi oleh bakteri fosfatase, berubah menjadi bentuk anorganik (Fahrur, 2015). Peningkatan Jumlah PO_4^{3-} yang besar ini kemungkinan dapat menyebabkan eutrofikasi yang berlebihan jika dibuang pada perairan disekitarnya, sehingga mencegah fosfat masuk ke badan air merupakan kegiatan penting bagi setiap proses kegiatan akuakultur (Mirqueza *et al.*, 2016).

2) Nitrogen

Nitrogen adalah elemen kimia dengan simbol N, merupakan elemen kunci dalam proses sintesis protein dan asam nukleat, termasuk DNA dan RNA. Nitrogen juga menyusun menyusun sekitar 78% dari dari atmosfer bumi dalam bentuk gas nitrogen (N_2) yang ditandai dengan ikatan kovalen tiga yang sangat stabil sehingga tidak bisa dimanfaatkan secara metabolis oleh tanaman dan alga, namun N tersedia di perairan dan dapat dimanfaatkan melalui fiksasi transformasi N_2 menjadi bentuk amonia (NH_3). Fiksasi ini pada umumnya dilakukan oleh mikroba simbiotik dan non simbiotik, seperti *Anabaena azollae*, *Rhizobium*, dan *Azotobacter* yang berperan dalam mengkonversi N_2 dari atmosfer ke bentuk yang lebih reaktif dengan enzim nitrogenase, serta disuplai melalui presipitasi hujan ke perairan (Hanafia, 2018).

Selain melalui fiksasi N_2 , N juga tersedia bagi tanaman dan alga melalui mineralisasi N organik menjadi anorganik oleh mikroorganisme, karena didalam tanah 99% N terdapat dalam bentuk organik hanya 2-4% saja yang di ubah menjadi NH_3 . Mineralisasi dimulai dengan deaminasi, di mana mikroorganisme tanah mengubah nitrogen organik dari protein dan asam amino menjadi amonia (NH_3). Deaminasi merupakan langkah awal, proses ini meningkatkan konsentrasi amonia dalam tanah dalam kondisi pH netral hingga basa mikroorganisme lebih aktif dalam memecah asam amino (Hanafiah, 2018). NH_3 memiliki kecenderungan berubah dari bentuk terlarut menjadi gas, terutama di lingkungan dengan pH tinggi (basa), ketika tidak mengalami amonifikasi maka NH_3 akan menguap ke atmosfer dan akan mengurangi ketersediaan N (Dodds and Whiles, 2010). Namun sebagian besar NH_3 akan segera berubah menjadi NH_4^+ akibat adanya ikatan yang kuat dengan elektron H^+ ketika bereaksi dengan H_2O disebut reaksi amonifikasi yang

dipercepat pada pH rendah karena ketersediaan ion hidrogen (H^+) yang lebih tinggi dan kemudian terikat pada tanah (Dodds and Whiles, 2010). Tanaman dan alga umumnya lebih efisien dalam menyerap nitrogen dalam bentuk NH_4^+ yang membutuhkan energi sedikit (5 ATP) untuk diubah kedalam bentuk organik dibandingkan dengan NO_3^- (15 ATP) (Zhang, 2019). Ketersediaan bakteri nitrifikasi menyebabkan terjadinya nitrifikasi NH_4^+ menjadi nitrat, proses ini meliputi dua tahap. Tahap pertama melibatkan oksidasi NH_4^+ menjadi NO_2^- . Reaksi ini dilakukan oleh bakteri nitrifikasi aerobik, terutama dari genus *Nitrosomonas* dan *Nitrosococcus*. Dalam reaksi oksidasi terjadi penambahan O_2 dan melepaskan ion H^+ , yang dapat menurunkan pH tanah. Tahap kedua, NO_2^- kemudian dioksidasi menjadi NO_3^- , sebuah proses yang dilakukan oleh bakteri dari genus *Nitrobacter* dan *Nitrospira* (Robertson and Groffman, 2015). Kedua reaksi ini harus terjadi secara berkeselimbangan agar tidak berdampak negatif karena pada tahap pertama dihasilkan nitrat yang dapat menjadi senyawa toksik, selain itu kedua reaksi membutuhkan ketersediaan aerasi yang cukup (Hanafiah, 2018).

Nitrat yang tidak terserap oleh tumbuhan di perairan akan mengalami denitrifikasi menjadi nitrogen bebas (N_2) atau dinitrogen oksida (N_2O). Bakteri denitrifikasi, seperti spesies dalam genus *Pseudomonas* dan *Paracoccus*, menggunakan NO_3^- sebagai akseptor elektron dalam metabolisme mereka ketika oksigen tidak tersedia. N_2O adalah produk denitrifikasi pada kondisi rendah oksigen, sedangkan N_2 adalah produk denitrifikasi pada kondisi anaerob (Jorgensen and Vollenweiden, 1989).

Pada tambak udang intensif, peningkatan NO_3^- terjadi selama tujuh minggu pertama masa budidaya hingga mencapai kisaran 7mg/L, lalu kemudian meningkat pada akhir masa pemeliharaan udang hingga mencapai 15mg/L. Peningkatan akumulasi NO_3^- terjadi karena bahan organik sebagai hasil dari pemberian pakan yang berlimpah dan akumulasi feses selama periode pemeliharaan yang kemudian terdekomposisi oleh bakteri nitrifikasi, berubah menjadi bentuk anorganik NO_3^- (Fahrur, 2015).

C. Dampak Akuakultur pada Perairan

Fasilitas akuakultur menghasilkan limbah yang semua atau sebagian dibuang ke lingkungan. Sekitar 80-90% pakan yang diberikan biasanya dimakan dan sisanya terbuang ke air. Biomassa spesies kultur hanya akan mengandung 10-20% dari bahan kering yang ditambahkan dalam pakan dan berarti sisanya terbuang dalam bentuk feses dan ekseresi lainnya. Sebagian pakan yang tidak

dimakan oleh organisme akuatik dan yang mati akan jatuh ke dasar perairan atau tersuspensi di dalam air. Pada saat yang sama, hasil buangan tersebut mengalami proses dekomposisi (Amirkolaie, 2011). Limbah anorganik buangan yang mengandung konsentrasi tinggi nitrogen dan fosfor ini kemudian masuk ke dalam perairan sekitar akuakultur. Wilayah pesisir merupakan penerima langsung nutrisi dosis tinggi. Hal ini ditambah dengan waktu tinggalnya yang relatif lama membuat ekosistem pesisir sangat rentan terhadap eutrofikasi. Eutrofikasi lingkungan perairan yang disebabkan oleh beban fosfor (P) dan nitrogen (N) yang berlebihan dari hasil buangan mengakibatkan masalah lingkungan seperti kekeruhan air berlebih, penurunan DO, dan juga mendorong pertumbuhan Alga yang tidak diinginkan yang mengancam kehidupan akuatik lainnya (Winoto *et al.*, 2020).

Pada beberapa contoh kasus, limbah disekitar perairan Tambak udang intensif PT. Tirta Bumi Nirbaya yang berlokasi di sekitar Teluk Hurun, kabupaten Lampung Selatan ditemukan konsentrasi fosfat mencapai 0,64 mg/L dan nitrat 0,81 mg/L (Ismail, 2014). Konsentrasi yang ditemukan melebihi ambang batas normal baku mutu air untuk konsentrasi nitrat dan fosfat bagi biota air laut (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.51, 2004), dan mencapai kesuburan perairan pada tingkat eutrofik sehingga berpotensi eutrofikasi jika pada perairan tersebut terdapat fitoplankton dan tingkat kecerahan yang tinggi pula.

Revolusi industri akuakultur dan perkembangan teknologi penyebab utama pencemaran air karena secara langsung maupun tidak langsung. Remediasi lingkungan perairan berbasis mikroalga salah satu alternatif yang paling menjanjikan, ramah lingkungan, dan berkelanjutan (Maryjoseph and Ketheesan, 2020).

D. Ficoremediasi oleh Mikroalga

Pengolahan air limbah berbasis mikroalga menawarkan solusi yang ramah lingkungan dan efisien untuk mengatasi masalah pencemaran air. Sebagai agen bioremediasi, mikroalga mampu menyerap dan mengubah berbagai polutan seperti nutrisi berlebih, logam berat, dan senyawa organik menjadi bentuk yang lebih aman. Ini menjadikan pengolahan air limbah berbasis mikroalga sebagai strategi yang menjanjikan untuk mengintegrasikan perlindungan lingkungan dengan inovasi teknologi hijau (Abdelfattah, 2022).

Ficoremediasi adalah metode remediasi berbasis alga yang diterapkan untuk mereduksi berbagai polutan dalam air. Strategi remediasi berbasis alga muncul sebagai solusi pengolahan limbah biaya rendah, ramah lingkungan, dan

mudah dikelola. Mikroalga dapat tumbuh cepat di media air limbah dan mereduksi sebagian besar pencemar, bahan anorganik dan organik (Mohseni *et al.*, 2020).

Proses Ficoremediasi alga yang ada dalam air limbah diawali dengan mengakumulasi sejumlah besar nutrisi anorganik seperti nitrat dan fosfat melalui asimilasi nitrogen dan fosforilasi. Mikroalga mengubah nitrogen anorganik menjadi nitrogen organik melalui asimilasi. Dalam proses asimilasi, nitrogen anorganik ditranslokasi dalam sitoplasma, di dalam sitoplasma, rantai reaksi oksidasi dan reduksi dioperasikan dengan adanya nitrat dan nitrit reduktase kemudian akhirnya dikonversi menjadi NH_4 . Dengan demikian, amonia yang ditransformasikan kemudian dimasukkan ke dalam cairan intraseluler. Penggabungan amonium ke dalam asam amino intraseluler glutamin kemudian difasilitasi oleh glutamat (Glu dan ATP) menjadi bentuk organiknya, yang merupakan blok bangunan dari peptida, protein, enzim, klorofil, dan molekul transfer energi seperti adenosin difosfat (ADP) dan adenosin trifosfat (ATP) serta materi genetik seperti RNA dan DNA. Fosfor adalah konstituen penting dari asam nukleat, lipid, dan protein. Selama metabolisme alga, fosfor dikonsumsi sebagai H_2PO_4 dan HPO_4 . Senyawa fosfat ini selanjutnya diintegrasikan ke dalam senyawa organik intraseluler (seperti asam nukleat, lipid, dan protein) melalui fosforilasi. Proses ini melibatkan beberapa transporter fosfat yang terletak di membran plasma mikroalga untuk mengambil P anorganik untuk transformasi fosfor seluler. Transformasi di bawah kondisi cahaya (yaitu fotosintesis) mencakup generasi ATP dari ADP dan sintesis polifosfat (seperti polifosfat yang larut dalam asam dan polifosfat yang tidak larut dalam asam) oleh polifosfat kinase (Nguyen *et al.*, 2022; Bwapwa *et al.*, 2017).

Menurut Maryjoseph and Ketheesan (2020), Mikroalga memiliki mekanisme khusus yang memungkinkan mereka mengakumulasi NO_3^- dan PO_4^{3-} dengan cara adsorpsi dan bioakumulasi. Adsorpsi pada Mikroalga bekerja dengan menyerap polutan ke permukaan sel. Ini terjadi melalui interaksi fisik antara molekul polutan dan permukaan sel mikroalga dapat terikat pada membran sel mikroalga dan diperoleh oleh sel melalui proses adsorpsi. Sedangkan, bioakumulasi bekerja dengan mengakumulasi polutan di dalam sel mereka dengan tingkat yang tinggi. Ini terjadi melalui transportasi aktif atau difusi polutan ke dalam sitoplasma sel mikroalga. Setelah diakumulasi, polutan dapat diubah melalui proses biokimia dalam sel mikroalga.

Selain kelebihan dari penggunaan mikroalga dalam proses bioakumulasi NO_3^- dan PO_4^{3-} , pemanfaatan mikroalga juga terjadi dalam proses fotosintesis

untuk menghasilkan energi dari sinar matahari dan mengubah karbon dioksida menjadi oksigen. Proses ini membantu mengurangi kadar karbon dioksida dalam lingkungan dan berkontribusi pada peningkatan kualitas udara. Dalam kombinasi dengan mekanisme ini, mikroalga dapat membantu membersihkan lingkungan secara alami dan berkelanjutan (Abdurrachman, 2013).

Beberapa studi telah dilakukan untuk mengevaluasi potensi fitoremediasi dalam mengurangi konsentrasi NO_3^- dan PO_4^{3-} pada berbagai limbah. Dalam beberapa kepadatan mikroalga tertentu, telah terbukti bahwa mikroalga dapat meremediasi konsentrasi pada kepadatan 10^6 sampai dengan berdasarkan kondisi optimal (Wang et al., 2009). Hasil-hasil ini menunjukkan potensi yang menjanjikan untuk menggunakan mikroalga dalam proses fitoremediasi untuk mengurangi konsentrasi NO_3^- dan PO_4^{3-} dalam limbah akuakultur.

Teknik berbasis mikroalga baru-baru ini memperoleh perhatian yang signifikan untuk *treatment* air limbah kota, industri, agroindustri, dan akuakultur. Mikroalga dapat meminimalkan risiko eutrofikasi dengan mereduksi komponen NO_3^- dan PO_4^{3-} . Selain itu Mikroalga dianggap sebagai alternatif multifungsi untuk *treatment* biologis, mengubah bahan anorganik dan organik yang tidak diinginkan menjadi biomassa yang bernilai (Abdelfattah, 2022).