

**UJI APLIKASI PUPUK BIO-SILIKA DAN REMEDIASI  
TANAH UNTUK PERBAIKAN KUALITAS AIR TAMBAK  
TANAH SULFAT MASAM**

**KAMARIAH**

**NIM : 4621105008**



**Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan**

**Guna Memperoleh Gelar Magister**

**PROGRAM STUDI BUDIDAYA PERAIRAN**

**PROGRAM PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR**

**2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul : Uji Aplikasi Pupuk Bio-Silika dan Remediasi Tanah untuk Perbaikan Kualitas Air Tambak Tanah Sulfat Masam
2. Nama Mahasiswa : Kamariah
3. NIM : 4621105008
4. Program Studi : Pascasarjana Budidaya Perairan

Menyetujui

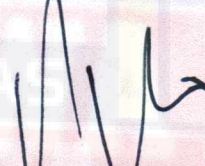
Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Ir. Nur Asia Umar, M.Si.

Pembimbing II

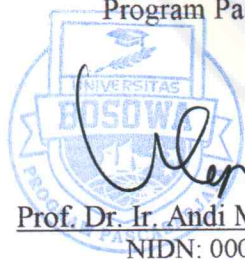


Dr. Sutia Budi, S.Pi., M.Si.

Mengetahui

Direktur

Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Andi Muhibuddin, M.P.  
NIDN: 0005086301

Ketua Program Studi

Budidaya Perairan



Dr. Ir. Sri Mulyani, M.M.  
NIDN: 0004066705

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari/Tanggal :

Tesis atas nama : Kamariah

Nim : 4621105008

Telah diterima oleh Panitia Ujian Tesis Program Pascasarjana untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister pada Program Studi Pascasarjana Budidaya Perairan

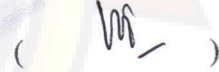
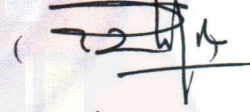
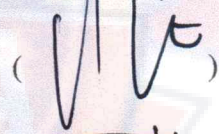
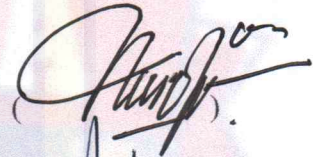
### PANITIA UJIAN TESIS

Ketua : Dr. Ir. Nur Asia Umar, M.Si

Sekretaris : Dr. Sutia Budi, S.Pi, M.Si

Anggota Penguji : 1. Dr. Ir. Erni Indrawati, M.P

2. Dr. Ir. Sri Mulyani, M.M



Makassar,

2023

Direktur



Prof. Dr. Ir. Andi Muhibuddin, M.P

NIDN: 0005086301

## PERNYATAAN KEORISINILAN

Dengan pernyataan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun dengan judul “Uji Aplikasi Pupuk Bio-Silika dan Remediasi Tanah Terhadap Kualitas Air Tambak Tanah Sulfat Masam” adalah benar merupakan hasil karya intelektual mandiri dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua sumber referensi yang dikutip dan yang dirujuk telah ditulis pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terjadi penyimpangan dari pernyataan yang saya buat ini, maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Makassar, Agustus 2023

Pembuat Pernyataan



Kamariah

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin. Kita banyak bersyukur kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya tak lupa salawat dan salam kita persembahkan dihadapan ikutan kita Muhammad Rasulullah SAW yang telah mengeluarkan ummatnya dari kegelapan kepada yang terang benderang. Sejalan dengan rasa syukur tersebut kami telah menyusun tesis ini dengan judul "Uji Aplikasi Pupuk Bio-Silika dan Remediasi Tanah untuk Perbaikan Kualitas Air Tambak Tanah Sulfat Masam". Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Pendidikan Magister Budidaya Perairan Universitas Bosowa Makassar.

Penulis menyadari bahwa tesis ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis berterima kasih kepada semua pihak yang secara langsung dan tidak langsung telah memberikan kontribusi dalam penyelesaian tesis ini. Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada keluarga tercinta atas dukungan, motivasi, semangat dan doanya. Dengan ketulusan hati penulis juga mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Andi Muhibuddin, M.P, selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Bosowa, Makassar
2. Dr. Ir. Nur Asia Umar, M.Si, selaku Pembimbing I yang telah banyak memberikan masukan, semangat dan bimbingan.
3. Dr. Sutia Budi, S.Pi, M.Si, selaku Pembimbing II yang senantiasa memberikan arahan, motivasi dan bimbingan.



4. Dr. Ir. Erni Indrawati, M.P, selaku Penguji I yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang sangat membangun.
5. Dr. Ir. Sri Mulyani, M.M, selaku Penguji II sekaligus Ketua Program Studi Pascasarjana Budidaya Perairan, yang tidak henti-hentinya memberikan semangat, motivasi, saran dan bantuannya setiap saat.
6. Dr. Tarunamulia, S.T, M.Sc, selaku pembimbing lapangan yang telah memberi ide, membimbing dan mengarahkan selama penelitian.
7. Sivitas Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas bantuan, doa dan dukungannya.
8. Kepala Balai dan seluruh staf Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau Maros, atas dukungan sarana dan prasarana juga jasa laboratorium yang sangat membantu dalam pelaksanaan penelitian.
9. Seluruh dosen, bagian kepegawaian, bagian keuangan dan seluruh staf Universitas Bosowa, atas ilmu yang diberikan, bantuan dan arahnya.
10. Semua kawan-kawanku utamanya prodi Pascasarjana Budidaya Perairan angkatan 2021, atas kerjasama dan kekompakan yang terjalin manis.

Semoga segala bantuan yang diberikan dibalas dengan kebaikan yang berlipat ganda oleh Allah SWT.

Penulis menyadari tesis ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun akan diterima dengan senang hati. Akhir kata semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk meningkatkan pengetahuan kita utamanya dibidang budidaya perairan.

Makassar, Agustus 2023  
Penulis

Kamariah

## ABSTRAK

**KAMARIAH.** Uji Aplikasi Pupuk Bio-Silika dan Remediasi Tanah untuk Perbaikan Kualitas Air Tambak Tanah Sulfat Masam. Dibimbing oleh Nur Asia Umar dan Sutia Budi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kombinasi aplikasi pupuk bio-silika dan remediasi tanah terhadap kualitas air tambak (termasuk kelimpahan fitoplankton) tanah sulfat masam. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor dan masing-masing faktor 2 perlakuan, sehingga diperoleh 4 kombinasi. Kombinasi perlakuan yaitu AOBO (tanpa remediasi tanah dan tanpa penambahan pupuk bio-silika), AOBI (tanpa remediasi tanah dan ada penambahan pupuk biosilika), AIBO (Ada penambahan pupuk bio-silika dan tanpa remediasi tanah) dan AIBI (kombinasi penambahan pupuk bio-silika dan remediasi tanah) dengan masing-masing 3 ulangan, sehingga diperoleh 12 unit percobaan. Parameter kualitas tanah yang dianalisis meliputi variabel  $pH_F$ ,  $pH_{FOX}$ , potensial redoks,  $S_P$ ,  $S_{POS}$ , TPA, TAA, TSA, C-organik, N-total,  $PO_4$ , Fe, Al dan pirit. Parameter kualitas air antara lain variabel  $NH_3-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $PO_4$ ,  $SiO_2$  dan BOT ditambah parameter kepadatan plankton. Untuk mengetahui pengaruh kombinasi penambahan pupuk bio-silika dan remediasi tanah terhadap kualitas air dilakukan analisis ragam multivariat (ANOVA) dengan IBM SPSS *Statistics* 25. Hasil pengamatan multi-temporal menunjukkan kualitas air dan pertumbuhan fitoplankton mulai menurun pada hari ke 15. Hasil analisis ragam menunjukkan perlakuan penambahan pupuk bio-silika (AOBI) berpengaruh nyata pada konsentrasi amonia, nitrat, nitrit dan silika. Sedangkan perlakuan remediasi tanah (AIBO) berpengaruh nyata terhadap konsentrasi fosfat, nitrit, nitrat, bahan organik dan silika. Untuk perlakuan interaksi penambahan pupuk bio-silika dan remediasi tanah (AIBI) berpengaruh nyata terhadap penurunan konsentrasi amonia dan peningkatan konsentrasi silika. Dengan demikian kualitas air tambak tanah sulfat masam sangat dipengaruhi oleh pengelolaan tanah dan dosis pupuk yang ditambahkan. Selanjutnya dibutuhkan penambahan pupuk (pupuk susulan) sebelum hari ke 15 agar nutrisi dalam air tambak tanah sulfat masam dapat tetap terjaga keseimbangannya untuk kehidupan fitoplankton.

**Kata Kunci : Pupuk bio-silika, remediasi tanah, kualitas air tambak**

## ABSTRACT

**Kamariah.** *Application Test of Bio-Silica Fertilizer and Soil Remediation for Improving Water Quality in Acid Sulfate Soil Ponds. Supervised by Nur Asia Umar and Sutia Budi.*

*This research aims to determine the effect of the combined application of bio-silica fertilizer and soil remediation on the water quality of acid sulfate soil ponds (including phytoplankton abundance). The research employed a Completely Randomized Design (CRD) with 2 factors, each having 2 treatments, resulting in 4 combinations. The treatment combinations were AOBO (no soil remediation and no addition of bio-silica fertilizer), AOBI (no soil remediation and bio-silica fertilizer added), AIBO (bio-silica fertilizer added and no soil remediation), and AIBI (combination of bio-silica fertilizer addition and soil remediation), each with 3 replications, resulting in a total of 12 experimental units. Soil quality parameters analyzed include  $pH_F$ ,  $pH_{FOX}$ , redox potential,  $S_P$ ,  $S_{POS}$ , TPA, TAA, TSA, organic-C, total-N,  $PO_4$ , Fe, Al, and pyrite. Water quality parameters include  $NH_3-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $PO_4$ ,  $SiO_2$ , and BOD, in addition to plankton density as a parameter. To determine the effect of the combined addition of bio-silica fertilizer and soil remediation on water quality, a multivariate analysis of variance (ANOVA) was conducted using IBM SPSS Statistics 25. Results from multi-temporal observations indicated that water quality and phytoplankton growth began to decline on the 15<sup>th</sup> day. The analysis of variance results showed that the treatment involving the addition of bio-silica fertilizer (AOBI) significantly affected the concentrations of ammonia, nitrate, nitrite, and silica. On the other hand, the soil remediation treatment (AIBO) significantly influenced the concentrations of phosphate, nitrite, nitrate, organic matter, and silica. The interaction between the addition of bio-silica fertilizer and soil remediation (AIBI) significantly affected the reduction in ammonia concentration and the increase in silica concentration. Thus, the water quality of acid sulfate soil ponds is greatly influenced by soil management and the dosage of added fertilizer. Furthermore, additional fertilizer (follow-up fertilizer) is needed before the 15<sup>th</sup> day to maintain nutrient balance in acid sulfate soil pond water for the sustenance of phytoplankton life.*

**Keywords:** *Bio-silica fertilizer, soil remediation, pond water quality.*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENERIMAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEORISINILAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian .....	5
D. Manfaat Penelitian .....	5
E. Lingkup Penelitian .....	6
<b>BAB II</b> .....	<b>7</b>
<b>KAJIAN TEORI, KERANGKA PIKIR,</b> .....	<b>7</b>
<b>DAN KERANGKA KONSEP</b> .....	<b>7</b>
A. Kajian Teori .....	7
B. Kerangka Pikir .....	17
C. Kerangka Konsep.....	18
D. Hipotesis .....	18
<b>BAB III</b> .....	<b>19</b>
<b>METODE PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
A. Jenis Penelitian.....	19
B. Waktu dan Lokasi penelitian .....	19
C. Alat dan Bahan Penelitian .....	19
D. Metode Pengumpulan Data dan Sumber Data .....	20
E. Prosedur Penelitian.....	21
F. Analisis Data .....	26
G. Rancangan Penelitian .....	26
H. Desain dan Tata Letak Penelitian .....	27

<b>BAB IV .....</b>	<b>28</b>
<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
A. Hasil Penelitian .....	28
B. Pembahasan.....	44
<b>KESIMPULAN.....</b>	<b>53</b>
<b>SARAN.....</b>	<b>53</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi unsur dan oksida penyusun pupuk BiSa-Dia .....	15
Tabel 3. 1 Daftar alat dan bahan penelitian .....	19
Tabel 4. 1 Kualitas tanah tambak (awal) yang digunakan pada penelitian (n=4).....	28
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan dosis kapur yang ditambahkan pada proses remediasi tanah dalam wadah penelitian.....	29
Tabel 4. 3 Dosis pupuk yang ditambahkan pada wadah sesuai perlakuan penelitian.....	29
Tabel 4. 4 Kualitas tanah sulfat masam setelah penelitian (n=12).....	30
Tabel 4. 5 Kualitas air laut awal yang digunakan dalam penelitian.....	31
Tabel 4. 6 Hasil analisis ragam multivariat (ANOVA) perlakuan kombinasi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika terhadap kualitas air.....	38
Tabel 4. 7 Kelimpahan plankton pada wadah selama penelitian .....	39

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pola Diffraksi sinar-x (XRD) pupuk BiSa-Dia .....	15
Gambar 2. 2 Morfologi pupuk Bisa-Dia dari SEM dengan skala bar 8 $\mu\text{m}$ (A) dan 3 $\mu\text{m}$ (B) dan masing-masing spectra EDS nya. ....	16
Gambar 2. 3 Kerangka pikir penelitian .....	17
Gambar 2. 4 Kerangka konsep penelitian .....	18
Gambar 3. 1 Desain wadah penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Tata letak wadah penelitian.....	27
Gambar 4. 1 Grafik suhu air selama penelitian.....	32
Gambar 4. 2 Grafik oksigen terlarut air selama penelitian .....	32
Gambar 4. 3 Grafik salinitas air selama penelitian .....	33
Gambar 4. 4 Grafik pH air selama penelitian .....	34
Gambar 4. 5 Grafik konsentrasi amonia air selama penelitian .....	34
Gambar 4. 6 Grafik konsentrasi nitrit air selama penelitian .....	35
Gambar 4. 7 Grafik konsentrasi nitrat air selama penelitian.....	36
Gambar 4. 8 Grafik konsentrasi fosfat air selama penelitian.....	36
Gambar 4. 9 Grafik konsentrasi bahan organik total air selama penelitian .....	37
Gambar 4. 10 Grafik konsentrasi silika air selama penelitian .....	37
Gambar 4. 11 Grafik pola pertumbuhan fitoplankton selama penelitian (1); A) Navicula sp. B) Oscillatoria sp. dan C) Nitzschia sp.....	40
Gambar 4. 12 Grafik pola pertumbuhan fitoplankton selama penelitian (2); D) Pseudonitzschia sp. E) Prorocentrum sp. dan F) Skeletonema sp.....	41
Gambar 4. 13 Grafik pertumbuhan zooplankton selama penelitian; A) Tintinopsis sp. B) Copepoda sp. C) Euplotes sp. dan D) Apocyclops sp. ....	43

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi lahan untuk budidaya tambak yang sangat luas namun pemanfaatannya masih belum optimal. Banyak tambak dijumpai dalam kondisi kurang produktif dan cenderung ditinggalkan atau diterlantarkan oleh pemilik maupun penggarapnya karena dibangun pada lahan dengan kondisi kualitas lingkungan yang bermasalah. Kualitas lingkungan tambak utamanya kualitas tanah akan sangat mempengaruhi kualitas air sebagai media utama budidaya (Sammut, 1999). Tambak bermasalah dapat dicirikan dengan kondisi lahan tambak yang bersifat masam dan kandungan unsur hara yang rendah (Tarunamulia *et al*, 2019). Lahan yang masam dapat disebabkan oleh keberadaan tanah sulfat masam (TSM). TSM merupakan istilah yang diberikan pada tanah yang mengandung pirit. Ciri-ciri umum tanah sulfat masam antara lain adalah warna abu-abu pada tanah hasil galian yang merupakan ciri dari pirit; mineral jarosit berwarna kuning pada tanah yang kering (teroksidasi); gundukan tanah hasil udang lumpur (*Thalassina anomala*); dan terdapatnya tanaman atau vegetasi yang khas pada TSM seperti bakau, nipah, paku laut dan rumput teki (Mustafa *et al.*, 2011).

Permasalahan serius dalam budidaya tambak yang disebabkan oleh TSM adalah teroksidasinya mineral pirit ( $\text{FeS}_2$ ) yang mengakibatkan terbentuknya asam sulfat dan produk-produk oksidasi lainnya yang menjadi penyebab kemasaman yang tinggi dalam tambak (Karananidi *et al.*, 2022). TSM yang mengandung



konsentrasi aluminium (Al) dan besi (Fe) yang tinggi bila terlepas ke air tambak akan menyebabkan tidak tersedianya fosfor (P) (Imanudin *et al.*, 2021) sehingga terjadi defisiensi fosfor pada alga juga kematian udang atau ikan yang dibudidayakan. Dengan aplikasi bahan kaya silika akan menurunkan Al yang dapat ditukar dan Fe yang larut dalam tanah masam (Mustafa *et al.*, 2020; Tarunamulia *et al.*, 2020). Disamping itu Sammut *et al.* (1999) menyatakan bahwa asam organik dan silika dalam air akan menurunkan toksisitas Al pada kondisi asam lemah. Kemudian Mustafa & Sammut (2007) menyarankan beberapa tahapan remediasi untuk mengantisipasi dampak dari kondisi tanah tambak yang masam. Remediasi ini efektif dapat mengurangi kemasaman tanah sehingga meminimalisir biaya untuk pembelian pupuk dan kapur yang diaplikasikan selama proses budidaya.

Pengembangan dan pengelolaan akuakultur dengan menerapkan sistem produksi berbiaya rendah serta dengan menjaga keseimbangan lingkungan perairan menjadi solusi yang dapat diterapkan ditengah kelangkaan dan keterbatasan pupuk untuk budidaya tambak (Tarunamulia *et al.*, 2020). Ketersediaan dan kebutuhan pupuk merupakan komponen penting dalam budidaya yang menjadi tantangan dan faktor pembatas dalam peningkatan produktivitas tambak. Kebijakan subsidi pupuk di Indonesia masih terbatas dan belum menjadi jalan keluar yang optimal bagi pembudidaya tambak. Apalagi setelah kebijakan pemerintah dengan menerbitkan Permentan No 10 tahun 2022 yang mencabut subsidi pupuk untuk budidaya tambak mengakibatkan kerap terjadi aksi unjuk rasa di berbagai daerah. (<https://surabaya.tribunnews.com/2022/08/24/permentan-cabut-subsidi-pupuk-ribuan-petambak-di-lamongan-demo-kepung-tiga-kantor-pemerintah>).

Pemupukan pada budidaya tambak membantu meningkatkan produktivitas fitoplankton yang merupakan pakan utama zooplankton dan biota dasar (Boyd, 2014). Fitoplankton jenis diatom lebih banyak dikembangkan karena memiliki kelebihan dibanding jenis fitoplankton lainnya antara lain memiliki nilai nutrisi tinggi dan tidak menyebabkan penurunan kualitas air atau lingkungan (Bhattacharjya *et al.*, 2021). Dinding sel diatom hampir secara keseluruhan terbuat dari silika, dengan demikian silika sangat dibutuhkan oleh diatom. Silikon (Si) dan Nitrogen (N) adalah nutrien anorganik yang dibutuhkan untuk pertumbuhan diatom (Saxena *et al.*, 2022). Keberhasilan pemupukan tambak tergantung pula pada keakuratan dalam menentukan komposisi nutrien yang dibutuhkan oleh fitoplankton seperti rasio kebutuhan Si dan N. Input N dari aktivitas antropogenik yang disalurkan lewat sungai dan saluran yang berakhir di perairan pantai akan meningkatkan konsentrasi N sementara sumber Si konstan sehingga menyebabkan peningkatan rasio N:Si dan pada akhirnya Si kemungkinan akan menjadi faktor pembatas pertumbuhan (Choudhury & Bhadury, 2015). Jika terjadi penurunan konsentrasi Si (peningkatan rasio N:Si) maka jenis fitoplankton yang lain yang kemungkinan kurang baik untuk budidaya tambak akan berkembang dan mendominasi (Davidson *et al.*, 2012). Melihat pentingnya rasio kebutuhan N dan Si maka untuk meningkatkan pertumbuhan diatom, pupuk berbasis silika sangat diperlukan (Tarunamulia *et al.*, 2020). Namun demikian penggunaan pupuk silika dikalangan pembudidaya di Indonesia utamanya pada budidaya tambak masih sangat terbatas. Menurut Tannock (2016) masih sangat sedikit perhatian pada pengukuran dan monitoring konsentrasi silika dalam air tambak.

Penelitian mengenai produksi pupuk biosilika telah dilakukan oleh Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau dan Penyuluhan Perikanan (BRPBAPPP) Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) pada tahun 2020, dan telah dilakukan pengujian terhadap kultur diatom *Skeletonema costatum* dengan rasio optimum N:Si adalah 1:1 pada skala laboratorium (Tarunamulia *et al.*, 2020). Disamping itu telah banyak penelitian mengenai remediasi tanah sulfat masam untuk perbaikan kualitas lingkungan tambak budidaya. Untuk itu pada penelitian ini akan diuji coba integrasi pupuk bio-silika dan teknik remediasi tanah sulfat masam untuk melihat pengaruhnya terhadap kualitas air termasuk kelimpahan fitoplankton (dengan fokus utama diatom).

## **B. Rumusan Masalah**

Tingkat produktivitas tambak TSM relatif masih rendah akibat keterbatasan dalam menerapkan teknologi. Teknologi dengan biaya rendah dengan tetap menjaga lingkungan diharapkan mampu menjadi solusi bagi pembudidaya tambak tanah sulfat untuk tetap mengelola tambaknya. Aplikasi Pupuk berbahan silika yang diperoleh dari sekam padi telah banyak disarankan pada lahan masam di bidang pertanian, akan tetapi masih sangat sedikit pada bidang perikanan budidaya. Sehubungan dengan masalah tersebut maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

“Apakah kombinasi aplikasi pupuk bio-silika dan remediasi tanah berpengaruh terhadap kualitas air tambak (termasuk kelimpahan fitoplankton) tanah sulfat masam?”

### **C. Tujuan Penelitian**

Dari permasalahan yang telah dirumuskan maka ditetapkan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

“Untuk mengetahui pengaruh kombinasi aplikasi pupuk bio-silika dan remediasi tanah terhadap kualitas air tambak (termasuk kelimpahan fitoplankton) tanah sulfat masam.”

### **D. Manfaat Penelitian**

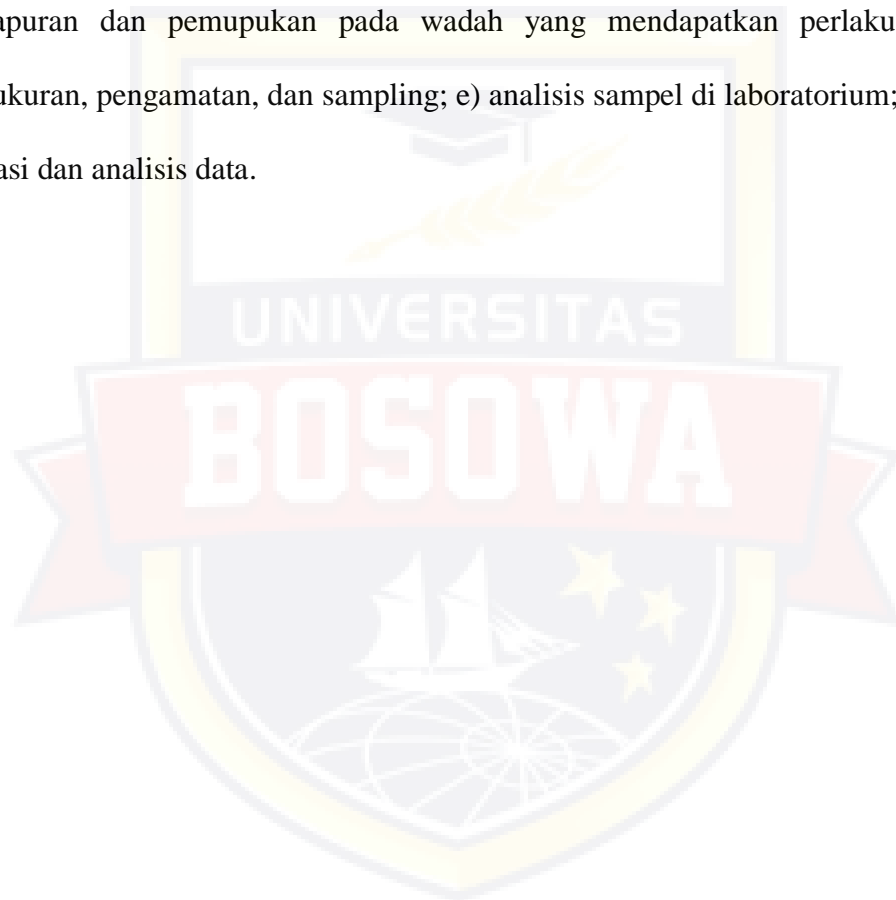
Pengelolaan dan penanganan tambak tanah sulfat masam sampai saat ini masih terus dilakukan dengan berbagai pengembangan teknologi akuakultur. Jika dengan aplikasi bio-silika yang dikombinasikan dengan teknik remediasi mampu memaksimalkan pemanfaatan daya dukung (*carrying capacity*) lahan tambak TSM, maka dampaknya akan sangat terasa. Penerima manfaat dari hasil penelitian ini adalah pemerintah daerah (Dinas Perikanan), industri sarana produksi (saprodi), pemerhati lingkungan, lembaga swadaya masyarakat (LSM), penyuluh perikanan dan pembudidaya tambak.

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Membantu perbaikan kualitas lingkungan dan peningkatan produksi tambak sekaligus mengurangi penelantaran lahan tambak tanah sulfat masam.
2. Membantu masyarakat dalam memanfaatkan limbah pertanian menjadi pupuk bio-silika yang diaplikasikan dibidang perikanan.
3. Membantu menekan biaya pengelolaan tambak sehingga dampak ekonomi akan sangat signifikan.

## **E. Lingkup Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di rumah plastic (rumah yang beratapkan plastik transparan). Lama penelitian tiga bulan dimulai sejak persiapan peralatan hingga analisis dan interpretasi data. Tahapan penelitian meliputi: a) persiapan media berupa tanah tambak yang berkategori tanah sulfat masam dan persiapan air laut; b) pembuatan pupuk bio-silika dan kultur diatom; c) tahapan remediasi, pengapuran dan pemupukan pada wadah yang mendapatkan perlakuan; d) pengukuran, pengamatan, dan sampling; e) analisis sampel di laboratorium; dan f) tabulasi dan analisis data.





## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI, KERANGKA PIKIR, DAN KERANGKA KONSEP**

#### **A. Kajian Teori**

##### **1. Tambak Tanah Sulfat Masam**

TSM merupakan istilah yang diberikan pada tanah atau sedimen yang mengandung  $\text{FeS}_2$  dan produk oksidasinya (Sullivan *et al.*, 2018). TSM banyak dijumpai pada daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut seperti daerah mangrove, rawa pantai, dataran pantai dan lahan basah yang dekat dengan laut atau muara sungai (Kamariah *et al.*, 2012; Mustafa & Ratnawati, 2013). Menurut Sullivan (2004), sekitar 24 juta hektar TSM seluruh dunia dijumpai di sepanjang dataran pantai dan muara. Pada kondisi lahan *anaerob* yang mengandung bahan organik yang tinggi dan adanya sumber Fe dari sedimen dan  $\text{SO}_4$  dari laut memungkinkan terbentuknya  $\text{FeS}_2$  (VanZomeren *et al.*, 2020). Pirit yang banyak terkandung dalam tanah sulfat masam yang bila teroksidasi dan terhidrolisis akan menghasilkan asam sulfat sehingga akan mempengaruhi kualitas lingkungan budidaya dan berdampak negatif terhadap biota perairan (Karananidi *et al.*, 2022).

Permasalahan pada tambak yang berasosiasi dengan TSM antara lain adalah: tingkat keasaman (pH) tanah yang tinggi ( $\text{pH} < 4$ ); keberadaan unsur toksik seperti Fe, Al, dan logam berat; konsentrasi  $\text{SO}_4$  yang tinggi; dan kurang tersedianya P (Imanudin *et al.*, 2021). Kandungan Fe dan Al yang tinggi pada tambak air payau yang memiliki kandungan bahan organik yang tinggi sebagai hasil dari pH rendah, dapat menyebabkan kelarutan Fe dan Al. Kandungan Al yang tinggi dalam TSM meningkat pada pH yang lebih rendah, yaitu pH 4,0-4,5

(Tarunamulia & Sammut, 2022; Vithana *et al.*, 2022). Kandungan Fe dan Al yang tinggi menyebabkan kandungan fosfat ( $\text{PO}_4$ ) yang relatif lebih rendah hingga tidak tersedia. Pada pH tanah rendah,  $\text{PO}_4$  diikat dengan oleh Fe dan Al dalam bentuk  $\text{FePO}_4$  atau  $\text{AlPO}_4$ , yang tidak larut (Kluczka *et al.*, 2012). Dengan kondisi kemasaman TSM pada tambak dapat mengakibatkan: (1) pertumbuhan udang dan ikan tidak normal, (2) mudah diserang penyakit, sehingga berakibat mortalitas tinggi, (3) tingkat penetasan telur rendah, dan (4) ketersediaan unsur hara rendah (Wurts & Masser, 2013).

Upaya untuk meningkatkan kualitas tanah dan mempertahankan kualitas air tambak dengan serangkaian kegiatan disebut dengan istilah remediasi. Remediasi tambak pada TSM untuk mengantisipasi dampak dari kondisi tanah tambak yang masam seperti yang disarankan oleh Mustafa & Sammut (2007). Dimulai dengan tahapan pengeringan untuk mengoksidasi pirit dan ion-ion berbahaya lainnya, selanjutnya perendaman untuk melarutkan produk oksidasi dan pembilasan untuk membuang unsur-unsur yang menyebabkan kemasaman dan pencemaran air tambak, lalu pembilasan untuk membuang senyawa beracun yang terlarut dan terkandung dalam partikel tanah yang masam. Remediasi tambak TSM diperlukan pada siklus awal atau tahap persiapan tambak. Tahapan selanjutnya adalah pengapuran untuk mengurangi kemasaman aktual dan potensial dari tanah TSM. Pengapuran dalam budidaya tambak berfungsi menetralkan kemasaman tanah tambak, mempertahankan level konsentrasi alkalinitas total pada air tambak dan meningkatkan efektivitas pemupukan (Han *et al.*, 2014). Perlakuan pengapuran dan remediasi memiliki pengaruh terhadap kualitas tanah dan kualitas air, yaitu pengapuran dan remediasi mampu meningkatkan pH tanah dan menurunkan  $\text{SO}_4$ ,

Fe dan Al (Mustafa & Ratnawati, 2012). Pengapuran dan remediasi TSM juga menurunkan retensi P dan meningkatkan ketersediaan P juga tingkat produksi klekap lebih tinggi (Senze *et al.*, 2021). Fosfor adalah nutrisi utama dalam produksi makanan alami di tambak (Wurts & Masser, 2013). Fosfor yang rendah dapat menyebabkan produksi pakan alami yang buruk dan berdampak pada kematian biota yang dibudidayakan (Kim *et al.*, 2021). Selain pengapuran, ketersediaan pupuk juga sangat dibutuhkan. Pemupukan merupakan komponen penting dalam pengelolaan budidaya tambak. Pemupukan dapat membantu meningkatkan produktivitas fitoplankton yang merupakan pakan utama zooplankton selain itu pemupukan juga dapat menjaga kualitas lingkungan tambak. Keberhasilan pemupukan tambak tergantung pada keakuratan dalam menentukan kebutuhan dan komposisi nutrisi yang dibutuhkan oleh fitoplankton atau algae (Boyd, 2019).

## **2. Silikon dan Diatom**

Silikon adalah unsur terbesar kedua setelah oksigen di kerak bumi. Pada tanah berpasir terdapat sebagai silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), dan pada mineral tanah liat adalah aluminium silikat hidrous (Boyd, 2014). Perairan alami mengandung silikon dari mineral silikat yang terlarut. Konsentrasi silikon di perairan alami biasanya dalam bentuk  $\text{SiO}_2$  dan berkisar antara 5-25 mg/L dalam badan air tawar, dalam air sungai rata-rata 13,1 mg/L dan dalam air laut normal mengandung 6,4 mg/L silika. Konsentrasi silika dapat diubah menjadi konsentrasi silikon dengan mengalikan dengan faktor 0,467 sesuai proporsi silikon dalam  $\text{SiO}_2$  (Boyd, 2014).

Diantara fitoplankton, diatom sangat membutuhkan silikon, karena “*frustules*” (dinding sel yang keras tetapi berpori) hampir seluruhnya terdiri dari silika (Thamatrakoln & Hildebrand, 2008). Diatom sangat penting peranannya

dalam ekosistem perairan karena merupakan produsen dalam rantai makanan yakni sebagai penghasil bahan organik dan oksigen. fitoplankton sangat penting pada ekosistem perairan termasuk lingkungan budidaya karena memiliki kandungan nutrisi yang baik dan keberadaannya tidak berdampak negatif pada lingkungan (Khan *et al.*, 2020). Dengan demikian untuk mempertahankan kualitas lingkungan budidaya khususnya budidaya tambak, para pembudidaya sering berupaya untuk meningkatkan kepadatan jenis diatom dibandingkan plankton jenis lainnya (Boyd, 2014).

Nutrien yang dibutuhkan diatom terbagi atas dua kelompok yaitu makro nutrisi dan mikro nutrisi. Makro nutrisi yaitu kelompok nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah cukup besar seperti karbon (C), N, P, dan Si (Spilling *et al.*, 2015). Sedangkan mikro nutrisi adalah kelompok nutrisi yang dibutuhkan dalam kadar kecil antara lain Fe, Mg, dan boron (Br) (Tannock, 2016). Rata-rata rasio C:N:Si:P pada dinding sel diatom adalah 106:15:16:1, dengan demikian diatom membutuhkan jumlah N dan Si yang sama untuk pertumbuhan (Tannock, 2016). Rasio N dan Si merupakan aspek fundamental pada pertumbuhan diatom (Gilpin *et al.*, 2004). Tarunamulia *et al.*(2020), melaporkan rasio N:Si; 1:1 adalah yang optimum untuk kultur diatom dari jenis *Skeletonema costatum* pada skala laboratorium. Hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan rasio, kita harus membandingkan rasio Si dan N bukan konsentrasi SiO<sub>2</sub> atau konsentrasi Amonia (NH<sub>3</sub>) dan Nitrat (NO<sub>3</sub>). NH<sub>3</sub> dan NO<sub>3</sub> merupakan penyusun utama *Dissolved Inorganic Nitrogen* (DIN) dan merupakan komponen nitrogen utama yang dibutuhkan fitoplankton pada umumnya termasuk diatom. Kandungan N-(NO<sub>3</sub>) pada kondisi air laut tidak tercemar lebih tinggi dari kandungan N-(NH<sub>3</sub>), dengan

demikian diatom dianggap juga lebih suka memanfaatkan nitrogen dalam bentuk nitrat dibandingkan dalam bentuk amonia (Choudhury & Bhadury, 2015).

Dari berbagai studi kualitas perairan dilaporkan bahwa saat proses pengkayaan hara (*nutrient enrichment*), yang dapat memicu terjadinya kejadian ledakan populasi alga (*algal blooms*) justru didominasi dan disenangi oleh spesies fitoplankton beracun yang secara internasional dikenal dengan istilah *Harmful Algal Blooms* (HABs) (US-EPA, 2013). Pada beberapa kasus keberadaan dan sekaligus peningkatan kelimpahan spesies fitoplankton penyebab HABs pada sekitar lingkungan tambak air payau berkaitan erat dengan peningkatan konsentrasi atau rasio unsur hara seperti nitrogen (N) dan fosfor (P) dari aktivitas budidaya (Hasani *et al.*, 2012). Kasus tersebut sejalan dengan yang dilaporkan Tarunamulia *et al.*, (2016) bahwa kelimpahan fitoplankton potensial HABs yaitu *Prorocentrum*, *Ceratium*, *Gymnodinium*, *Thalassiosira*, dan *Nitzschia* di kawasan tambak di Kecamatan Losari, Kabupaten Cirebon, Provinsi Jawa Barat utamanya dipengaruhi oleh variasi spasial ketersediaan dan rasio nutrisi esensial N dan P pada tanah dasar tambak. Jika konsentrasi silika perairan berkurang maka jenis-jenis fitoplankton yang tidak membutuhkan silikon akan melimpah dan mengganti dominansi diatom sebagai alga planktonik. Sebagai contoh alga dari jenis *cyanobacteria* akan memanfaatkan nitrogen yang tidak bisa digunakan oleh diatom karena silika telah habis terpakai (Tannock, 2016). Dengan alasan ini diatom dianggap sebagai “*key algae*” dan selalu menjadi fokus perhatian untuk pengelolaan sehubungan dengan perbaikan kualitas air budidaya (Tannock, 2016).

Diatom dapat dikultur untuk menghasilkan pakan yang dibutuhkan oleh zooplankton, ikan, udang, dan hewan lainnya di perairan (Fitriani *et al.*, 2017).



Secara umum, pada kultur mikroalga dibutuhkan berbagai macam senyawa anorganik baik makro maupun mikro. Setiap unsur hara memiliki fungsi khusus yang tercermin pada pertumbuhan dan kepadatan yang dicapai, tanpa mengesampingkan kondisi lingkungan (Saxena *et al.*, 2022). Faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroalga antara lain cahaya, temperatur, salinitas, tekanan osmose, dan pH air, yang bisa jadi memacu atau menghambat pertumbuhan (Khan *et al.*, 2020). Salah satu jenis diatom yang dikultur pada Balai Riset Perikanan Budiaya Air Payau adalah jenis *Skeletonema costatum*.

*Skeletonema costatum* adalah diatom yang merupakan alga unisel filamentik yang selnya berbentuk kotak yang terdiri atas *epitheca* (bagian yang lebih besar) dan *hypotheca* (bagian yang lebih kecil) yang bertangkup menjadi satu. Spesies ini tergolong *pennate diatom* yang berkembang biak secara isogami. Bagian *hypothecanya* berlubang-lubang yang polanya khas dan indah yang tersusun atas SiO<sub>2</sub> dengan diameter sel 4 – 15 mikron. Setiap sel diatom dipenuhi sitoplasma. Warna sel hijau kecoklatan dan pada setiap sel memiliki frustula yang menghasilkan skeletal eksternal. Karotenoid dan diatomin merupakan pigmen yang dominan pada jenis ini (Saxena *et al.*, 2021). *Skeletonema costatum* saat ini banyak digunakan oleh hampir setiap unit pembenihan udang windu di Indonesia (Lestari *et al.*, 2014). Kandungan nutrisi *Skeletonema costatum* yang tinggi menjadi salah satu faktor utama dipilih sebagai pakan alami (Saxena *et al.*, 2021). *Skeletonema costatum* kaya akan asam lemak tak jenuh (Widasari *et al.*, 2013), ukurannya lebih kecil sesuai bukaan mulut udang pada fase nauplius hingga zoea, serta mudah dikultur (Junda *et al.*, 2015).

Dalam kegiatan budidaya ikan dan udang, aplikasi pupuk merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan nutrisi untuk pertumbuhan fitoplankton (Kamariah & Tarunamulia, 2016). Pertumbuhan *Cyanobacteria* relatif tinggi dalam tambak yang diaplikasikan pupuk N, P, dan C; sebaliknya, diatom melimpah pada tambak yang diberi pupuk N, P dan Si (Yusoff *et al.*, 2002). Untuk itu aplikasi pupuk berbasis silika perlu dilakukan untuk meningkatkan kelimpahan diatom. Menurut Boyd (2014), untuk mendukung pertumbuhan dan kepadatan diatom pembudidaya harus menggunakan produk pupuk berbasis silika dengan kandungan silikon 20%. Namun demikian hingga saat ini masih sangat sedikit perhatian pada pengukuran dan monitoring konsentrasi silika dalam air tambak (Tannock, 2016).

### **3. Pupuk Bio-Silika**

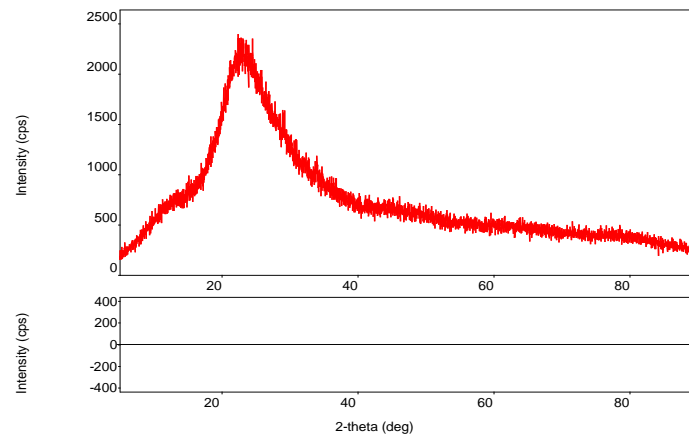
Pupuk bio-silika adalah pupuk yang mengandung silika yang diperoleh dari bahan alam yang kaya akan silika. Pada tahun 2020, Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau dan Penyuluhan Perikanan (BRPBAPPP), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) telah mendapatkan cara produksi pupuk bio-silika dari abu sekam padi yang praktis dan aman untuk lingkungan (Tarunamulia *et al.*, 2020). Varian produk pupuk bio-silika dari sekam padi, dan prototipe hasil ekstraksi terbaik secara kualitas dan ekonomi tersebut diberi nama "*Biogenic Silica for Diatom (BiSa-Dia)*". Varian ini terbukti efektif untuk menumbuhkan pakan alami dari spesies diatom.

Pemilihan sekam padi sebagai bahan baku utama untuk ekstraksi bio-silika ditentukan dengan berbagai pertimbangan antara lain: a) kandungan silika yang tinggi (Steven *et al.*, 2022); b) ketersediaan dan tingkat pemanfaatan yang masih terbatas dan kebanyakan menjadi limbah pertanian (Patil *et al.*, 2014); dan c) dari

segi lokasi bahan baku juga lebih strategis karena hampir disemua lokasi tambak, juga umumnya dijumpai persawahan sebagai sumber sekam padi (*Tarunamulia et al.*, 2020).

Dari penelitian *Tarunamulia et al.* (2020), didapatkan abu silika dari pembakaran sekam padi dengan kisaran 15-20% atau diperoleh 150-200 gram silika dari 1 Kg sekam. Metode produksi yang dilakukan adalah dengan pembakaran sekam padi yang praktis dengan tetap mempertahankan rentang suhu optimum sehingga metode ini dapat diaplikasikan oleh pembudidaya tambak. Dari berbagai penelitian, pembakaran sekam padi akan menghasilkan 18-20% abu sekam. Dari abu sekam tersebut sekitar 70-80% adalah  $\text{SiO}_2$ . Jadi dalam 100 Kg sekam didapatkan 13-14 Kg  $\text{SiO}_2$  (*Tarunamulia et al.*, 2020). Selain itu terdapat beberapa metode produksi untuk memperoleh silika dari sekam padi diantaranya oleh *Dhaneswara et al.* (2020) yang memperoleh silika amorf dengan kemurnian 98–99% dari sekam padi melalui ekstraksi basa/alkali menggunakan proses refluks yang diikuti dengan pengasaman. Kemudian *Fusinato et al.* (2022) mengekstraksi silika dari abu sekam padi dengan metode *sol-gel* yang dibantu *ultrasound*. Metode ini diterapkan untuk menentukan kondisi ekstraksi terbaik dengan mempertimbangkan waktu ekstraksi dan rasio molar sebagai variabel.

Karakteristik pupuk BiSa-Dia yang akan diujicoba pada penelitian ini terlihat pada pola difraksi sinar-X (XRD) pada Gambar 2.1 dan komposisi kandungan  $\text{SiO}_2$  dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:



Gambar 2. 1 Pola Diffraksi sinar-x (XRD) pupuk BiSa-Dia (Tarunamulia et al., 2020)

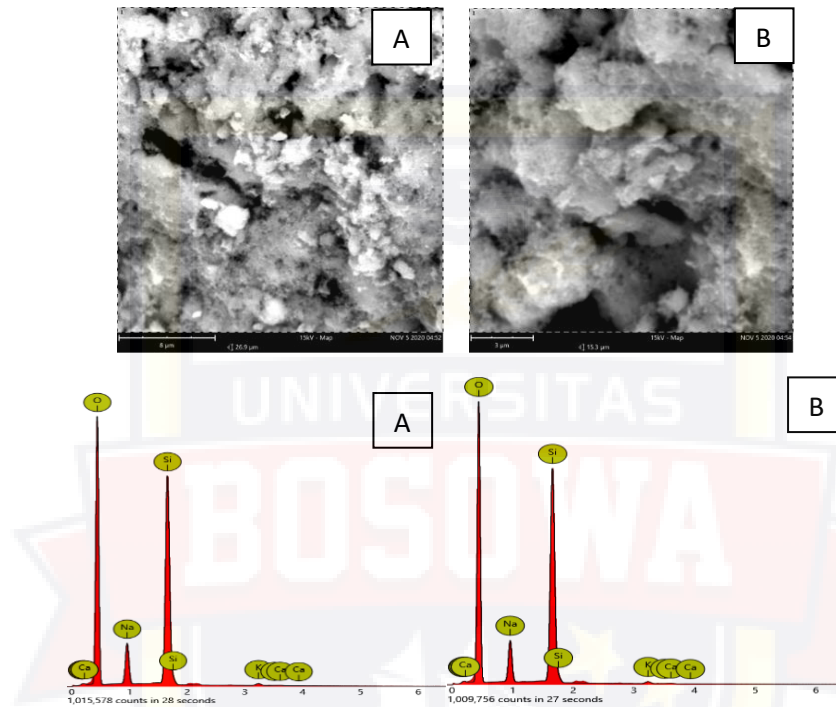
Dapat dilihat pada Gambar 2.1 bahwa difraktogram silika sekam padi menunjukkan peak dengan puncak terpusat pada posisi sudut  $2\theta = 22^\circ$ , hasil yang sama didapatkan oleh Dhaneswara *et al.*, (2020). Peak yang menunjukkan karakteristik silika amorf terletak di antara posisi sudut  $2\theta$   $15^\circ$  dan  $30^\circ$  (Fusinato *et al.*, 2022), dengan demikian menegaskan bahwa silika yang ada dalam sampel pupuk BiSa-Dia bersifat amorf. Hasil ini menjadi indikator kemurnian proses ekstraksi pupuk BiSa-Dia.

Tabel 2. 1 Komposisi unsur dan oksida penyusun pupuk BiSa-Dia (Tarunamulia *et al.*, 2020)

Element Symbol	Atomic Conc. (%)	Weight Element Conc. (%)	Oxide Symbol	Oxide Conc. %
O	51.54	39.46	-	-
Si	39.21	52.70	SiO <sub>2</sub>	83.88
Na	2.95	3.25	Na <sub>2</sub> O	3.97
C	3554	3.18	CO <sub>2</sub>	20.29
K	0.75	1.41	K <sub>2</sub> O	0.90

Pada Tabel 2.1, kandungan utama sampel bio-silika ini adalah Si dan O, dengan persentasi (%) berat masing-masing 52,7 dan 39,5 sehingga jika dikonversi

dalam bentuk oksida ( $\text{SiO}_2$ ) = 83,88%. Sedangkan hasil analisis morfologi Bisa-Dia dengan SEM ditunjukkan oleh Gambar 2.2 A dan B. Berdasarkan foto SEM tersebut tampak bahwa senyawa silika yang dihasilkan memiliki struktur morfologi partikel berbentuk gumpalan dengan permukaan berpori (*porous agglomerate*) sebagaimana sifat silika amorf (Tarunamulia *et al.*, 2020).



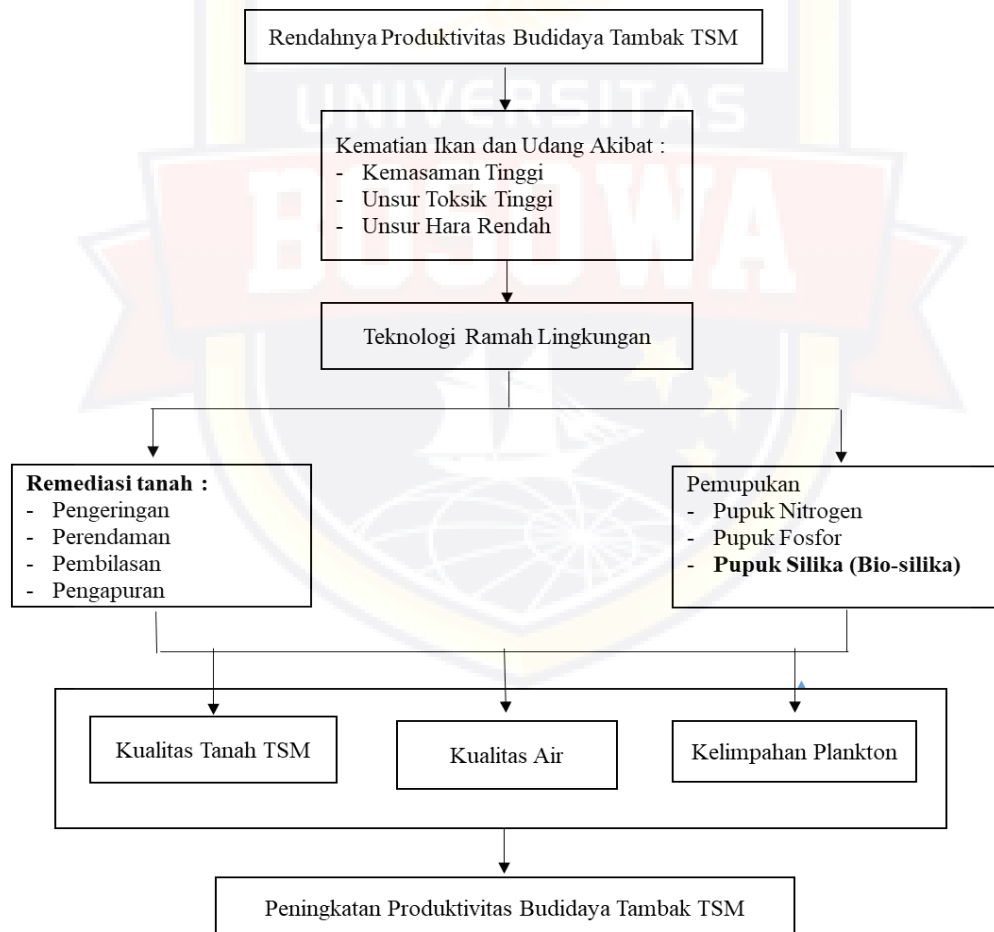
Gambar 2. 2 Morfologi pupuk Bisa-Dia dari SEM dengan skala bar 8  $\mu\text{m}$  (A) dan 3  $\mu\text{m}$  (B) dan masing-masing spectra EDS nya. (Tarunamulia *et al.*, 2020)

#### 4. Kualitas Air Tambak TSM

Kualitas air sangat penting dalam budidaya tambak yang merupakan media tumbuh biota yang dibudidayakan. Selain sebagai media utama budidaya, air merupakan tempat tumbuhnya pakan alami dan terjadinya berbagai reaksi kimia yang kemungkinan menjadi faktor pembatas (Kamariah *et al.*, 2019). Kualitas air merupakan faktor penting dalam keberhasilan usaha budidaya. Namun demikian kualitas air sangat dipengaruhi oleh kualitas tanah utamanya tanah sulfat masam.

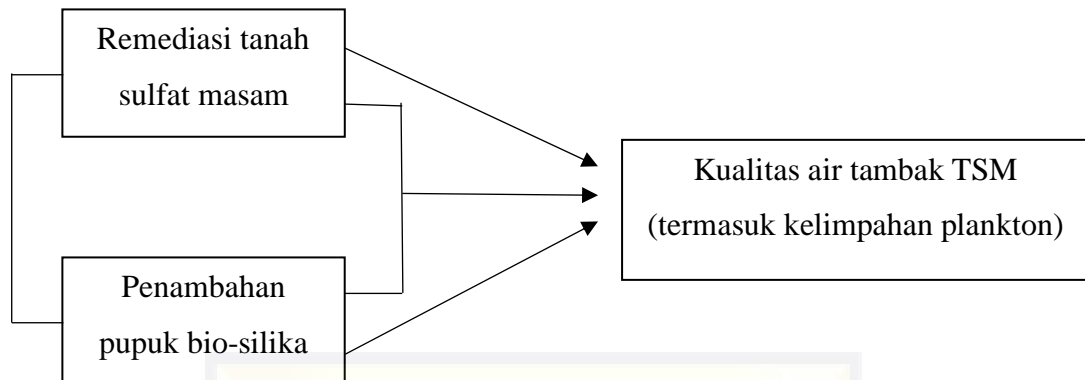
Tanah adalah faktor produksi utama dalam budidaya tambak, karena mempengaruhi kualitas air, proses biologis dan rekayasa tambak (Sammut, 1999). Respon terhadap efektivitas dan tingkat penyerapan unsur hara oleh fitoplankton pada tambak sulfat masam bervariasi, berdasarkan pengaruh variabel kualitas air (Hasnawi *et al.*, 2020). Variabel kualitas air tambak tanah sulfat masam yang diukur meliputi suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut (DO), NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, SiO<sub>2</sub>, bahan organik dan kelimpahan fitoplankton.

## B. Kerangka Pikir



Gambar 2. 3 Kerangka pikir penelitian

### C. Kerangka Konsep



Gambar 2. 4 Kerangka konsep penelitian

### D. Hipotesis

$H_0$  : Tidak ada pengaruh interaksi antara penambahan pupuk bio-silika dan remediasi tanah terhadap kualitas air dan kelimpahan fitoplankton

$H_1$  : Ada pengaruh interaksi antara penambahan pupuk bio-silika dan remediasi tanah terhadap kualitas air dan kelimpahan fitoplankton

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### A. Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dan metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL)-faktorial dengan dua faktor yakni faktor remediasi tanah dan faktor penambahan pupuk bio-silika dan setiap faktor diulang tiga kali

#### B. Waktu dan Lokasi penelitian

Penelitian ini berlangsung selama tiga bulan dan dilaksanakan pada rumah plastik yang berlokasi pada halaman kantor BRPBAPPP Maros. Sedangkan kultur diatom dan analisis sampel tanah, air dan plankton dilakukan pada laboratorium penguji BRPBAPPP.

#### C. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan Bahan yang digunakan untuk penelitian tersaji pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Daftar alat dan bahan penelitin

No.	Alat dan Bahan	Keterangan/Fungsi
	Alat :	
1.	pHmeter (Hanna HI 8424)	Mengukur pH tanah
2.	Redoks-meter (Hanna HI 8314)	Mengukur potensial redoks tanah
3.	DO-meter (YSI pro plus)	Mengukur pH, DO, salinitas dan suhu air
4.	Spektrofotometer (Simatzu)	Kualitas tanah dan air di laboratorium
5.	Mikroskop (Olympus CX40)	Pengamatan plankton
6.	Glassware laboratorium	Peralatan sampling dan preparasi sampel
7.	Kotak plastik ukuran 50 L	Wadah penelitian
8.	Peralatan aerasi	Instalasi aerasi
9.	Plankton-net	Menyaring plankton
10.	Ember	Mengangkut air media



11.	Plastik klip	Tempat sampel tanah
12.	Baki/nampan	Tempat sampel
13.	Kertas pengering	Tempat mengeringkan sampel tanah
14.	Lumpang porselin	Menghaluskan sampel tanah
15.	Ayakan	Mengayak sampel tanah
	<b>Bahan:</b>	
1.	Tanah tambak TSM	Media penelitian
2.	<i>Hydrogen Peroxide</i> 30%	Oksidasi tanah
3.	Pupuk bio-silika	Dibuat sendiri megikuti Tarunamulia <i>et al.</i> , (2020)
4.	Diatom <i>Skeletonema costatum</i>	Dikultur di laboratorium plankton
5.	Kapur dolomit	Proses pengapuran
6.	Pupuk TSP dan urea	Proses pemupukan
7.	Air laut	Media penelitian

#### D. Metode Pengumpulan Data dan Sumber Data

##### 1. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan teknik pengamatan indikator keberadaan TSM dan pengukuran langsung di lapangan (*insitu*) untuk variabel tanah TSM yaitu  $pH_F$ ,  $pH_{FOX}$  dan potensial redoks. Pengukuran *insitu* kualitas air juga dilakukan pada air laut yang akan digunakan dan pada wadah penelitian setiap kali sampling antara lain pH, suhu, oksigen terlarut dan salinitas.

Selain pengukuran *insitu* dilakukan pula analisis di laboratorium untuk sampel tanah dengan variabel  $S_P$  (*Peroxide sulfur*),  $S_{KCl}$  (sulfur yang diekstrak dengan KCl),  $S_{POS}$  ( $S_P - S_{KCl}$ ), TPA (*Titrateable Peroxide Acidity* atau sebelumnya dikenal dengan *Total Potential Acidity*), TAA (*Titrateable Actual Acidity* atau sebelumnya dikenal dengan *Total Actual Acidity*), TSA (*Titrateable Sulfidic Acidity* atau sebelumnya dikenal dengan *Total Sulfidic Acidity*) (TPA-TAA), karbon organik, nitrogen-total,  $PO_4$ , Fe, Al dan pirit. Untuk variabel kualitas air antara lain  $NH_3-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $PO_4$ ,  $SiO_2$ , BOT dan kelimpahan plankton.

Dari data hasil analisis laboratorium ditentukan dosis kapur dan dosis pupuk yang dibutuhkan untuk penelitian. Kebutuhan kapur ditentukan dari data kemasaman aktual dan potensial tanah TSM, kualitas material penetral/kapur (nilai netralisasi/NV, tingkat efisiensi/ER, dan komposisi kimia kandungan Mg atau Ca). Untuk dosis pupuk Urea, TSP dan Bio-silika sesuai kualitas air dan standar rasio N:P:Si sekitar 16:1:15 atau patokan rasio N:Si = 1:1.

## **2. Sumber Data**

### a) Data primer

Sumber data primer yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: pengukuran kualitas tanah pada awal dan akhir penelitian; pengukuran kualitas air dan kepadatan plankton pada awal sampai akhir penelitian.

### b) Data sekunder

Data sekunder sebagai sumber referensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah buku, jurnal, laporan teknis, berita *online*, artikel *online*, aplikasi *online*, *software online*, dan *website*.

## **E. Prosedur Penelitian**

### **1. Persiapan Media Penelitian**

Diawali dengan pengambilan air laut dan tanah dari tambak berkategori TSM yang digunakan sebagai media dan substrat dasar wadah. Dilakukan analisis kualitas air laut awal dengan variabel  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ , BOT (Walter, 2011; APHA, 2005) untuk mengetahui kondisi awal air laut dan sebagai acuan untuk menentukan dosis pupuk bio-silika yang ditambahkan. Untuk memastikan bahwa tanah media tersebut adalah TSM maka dilakukan analisis

kualitas tanah secara langsung dilapangan (*insitu*) dengan menggunakan indikator nilai variabel  $pH_F$ ,  $pH_{FOX}$  dan potensial redoks.  $pH_F$  adalah pH tanah yang diukur langsung di lapangan dengan pH-meter (Ahern, Blunden, et al., 2004), sedangkan  $pH_{FOX}$  adalah pH tanah yang diukur di lapangan setelah dioksidasi dengan hidrogen peroksida 30% dengan pH-meter (Ahern *et al.*, 2004), dan potensial redoks diukur dengan redox-meter. Selisih nilai  $pH_F$  dan  $pH_{FOX}$  ( $pH_F - pH_{FOX}$ ) yang tinggi ( $> 3,0$ ) terutama pada kondisi tanah tereduksi menunjukkan potensi kemasaman tanah tinggi yang merupakan indikator utama TSM. Juga dilakukan pengamatan indikator lapang TSM seperti adanya bercak kuning pada tanah yang merupakan mineral jarosit [ $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ ] pada pematang atau gundukan tanah tambak, karatan besi pada permukaan tanah dan meyelimuti kelekap; paku laut; dan gundukan tanah dari *Thalassina anomala*.

Sampel tanah TSM tersebut selanjutnya dibawa ke laboratorium tanah BRPBAPP untuk analisis lebih lanjut. Variabel yang akan dianalisis di laboratorium merupakan variabel kunci yang akan digunakan sebagai dasar untuk penetapan pegapuran dan pemupukan. Variabel tersebut antara lain:  $S_P$  (McElnea & Ahern, 2004c),  $S_{KCl}$  (McElnea & Ahern, 2004d),  $S_{POS}$  (Ahern & McElnea, 2004), TPA (McElnea & Ahern, 2004b), TAA (McElnea & Ahern, 2004a), TSA (McElnea & Ahern, 2004b), karbon organik dengan metode Walkley dan Black (Sulaeman *et al.*, 2005), Nitrogen-total dengan metode Kjeldhal (Sulaeman *et al.*, 2005),  $PO_4$  dengan metode Bray 1 (Sulaeman *et al.*, 2005), Fe dengan spektrofotometer (Menon, 1973), Al dengan spektrofotometer (Menon, 1973) dan pirit (McElnea & Ahern, 2004b).

Penelitian akan menggunakan wadah persegi empat dengan volume sekitar 50 liter yang ditata di dalam rumah plastik tembus cahaya matahari yang memungkinkan terjadinya fotosintesis bagi fitoplankton dan alga dasar. Tanah dimasukkan secara merata menutupi dasar masing-masing akuarium dengan tebal 1/3 tinggi akuarium

## 2. Tahapan Remediasi

Dilakukan tahapan remediasi khusus untuk unit sampel yang memang akan mendapatkan perlakuan remediasi dengan mengeringkan tanah hingga retak-retak sampai muncul warna karatan besi dipermukaan tanah (sekitar 7 hari). Selanjutnya dilakukan perendaman selama 1 hari (24 jam) yang diikuti pembilasan. Perendaman dan pembilasan ini dilakukan 2 kali. Setelah proses pembilasan dilanjutkan dengan pengapuran. Dosis kapur yang dibutuhkan untuk menetralsisir kemasaman tanah media akan dilakukan dengan mengkombinasikan metode Boyd (1990) dan metode SPOCAS (Ahern, *et al.*, 2004). Kombinasi metode ini mempertimbangkan tiga faktor utama yakni; 1) Kualitas tanah (Kemasaman aktual dan potensial tanah), dan 2) Kualitas material penetral/kapur (nilai netralisasi/NV, tingkat efisiensi/ER, dan komposisi kimia kandungan Mg atau Ca).

Kebutuhan kapur setara  $\text{CaCO}_3$  didasarkan pada jumlah kemasaman aktual dan kemasaman potensial tanah TSM, dalam hal ini jumlah kemasaman potensial dan aktual ditentukan berdasarkan nilai variabel  $S_{\text{POS}}$  (Ahern, *et al.*, 2004)

$$\text{Kebutuhan kapur (kg/ha)} = \frac{\text{Keb.kapur setara CaCO}_3}{\text{NV} \times \text{ER} / 100}$$

Dimana :

NV (Nilai netralisir kapur) (%) = ditentukan dengan pereaksi HCL (N=1) dan dititrasi dengan NaOH (Boyd, 1990)

ER (Tingkat efisiensi) (%) = Merupakan ukuran tingkat kehalusan butir kapur hubungannya dengan peningkatan alkalinitas yang diukur dengan ayakan ketelitian 10,20, dan 60 mesh

Kebutuhan Kapur setara = % S x 30,59 (Hazelton & Murphy, 2019)  
 CaCO<sub>3</sub> (kg) Asumsi rata-rata berat jenis tanah tambak (BJ) tanah = 1 gram/cm<sup>3</sup>; % S adalah sulfur yang dapat teroksidasi (1% S sebagai pirit akan memproduksi 30,59 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Tanah yang telah dikapuri dibiarkan selama 7 hari sebelum dilakukan pemupukan. Hal ini selain untuk membiarkan material kapur bereaksi optimal untuk menetralkan kemasaman tanah, juga untuk menghindari agar tidak terjadi pengikatan pupuk fosfat oleh kelebihan sisa partikel kapur yang belum bereaksi. Disamping itu dilakukan pembuatan pupuk bio-silika mengikuti petunjuk Tarunamulia *et al.*, (2020). Untuk pemupukan, bak diisi air payau yang telah disaring (saringan ukuran 0.5 µm) hingga ketinggian sekitar 5 cm dan dibiarkan tergenang menutupi retakan dan menguap hingga hampir kering. Selanjutnya kembali diisi air hingga ketinggian 10 cm dari dasar kemudian dilakukan penebaran pupuk Urea, TSP dan Bio-silika secara merata dengan dosis sesuai kualitas air dan standar rasio N:P:Si sekitar 16:1:15 (atau patokan N:Si = 1:1). Aplikasi pupuk bio-silika ditentukan berdasarkan hasil Tarunamulia *et al.*, (2020) dan Gilpin *et al.*, (2004) yakni rasio Si/N = 1:1 dan dihitung dengan menggunakan software online “*silica to nitrogen calculator*” dari <http://algaenviro.com.au/silica-calculator/> sedangkan aplikasi dosis pupuk nitrogen dan fosfat dihitung dengan bantuan “*Redfield Ratio Calculator*” (Buddendorf, 2022). Aplikasi pupuk bio-silika berkisar 150–200 mg/L (tergantung konsentrasi awal silika terlarut air laut media kultur). Setelah itu, wadah dibiarkan selama 5 hari untuk menumbuhkan fitoplankton yang ditandai dengan perubahan warna pada air. Kemudian pada

setiap akuarium masing-masing diisi air air laut dengan proporsi mencapai 2/3 tinggi wadah.

### **3. Kultur diatom *Skeletonema costatum***

Untuk mempercepat tumbuhnya plankton dilakukan proses kultur fitoplankton jenis diatom *Skeletonema costatum* yang nantinya digunakan sebagai starter. Pada proses kultur diatom ini dilakukan sterilisasi alat dan air laut dilakukan dengan menggunakan alat saringan dan *autoclave* juga bahan kimia klorin serta sinar *ultra violet* (UV). Air laut yang telah disterilisasi diukur kandungan silika terlarut. Selanjutnya dilakukan persiapan air media, pembuatan pupuk, dan persiapan media kultur. Kemudian akan di kultur dalam wadah Erlenmeyer 250 mL untuk stok murni selama kurang lebih 3 hari. Stok murni selanjutnya akan di pindahkan ke labu ukur 2000 mL selama 3 hari sampai siap di pindahkan ke wadah percobaan. Setelah itu ditambahkan ke dalam wadah penelitian dalam jumlah yang sama untuk setiap wadah.

### **4. Sampling dan Pengamatan**

Sampling dan pengamatan kualitas air dan plankton dilakukan mulai hari ke-6 dan dilanjutkan setiap 3 hari hingga 5 kali sampling. Sedangkan sampling tanah dilakukan pada awal dan akhir penelitian. Sampel air diambil sebanyak 500 mL untuk pengamatan kualitas air di laboratorium. Untuk pengamatan plankton, diambil sampel sebanyak 2 mL lalu diamati dengan mikroskop untuk mengetahui kelimpahan fitoplankton (APHA, 2005). Kemudian pengukuran dan analisis sampel untuk beberapa variabel kualitas air antara lain adalah: pH, suhu, salinitas, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, PO<sub>4</sub>, BOT (Walter, 2011; APHA, 2005), SiO<sub>2</sub> dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

## F. Analisis Data

Tabulasi data dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Data kualitas tanah pada awal dan akhir penelitian dianalisis secara deskriptif dan ditampilkan dalam bentuk tabel rata-rata  $\pm$  standar deviasi. Data kualitas air, kelimpahan dan pola pertumbuhan plankton selama penelitian (multi-temporal) disajikan dalam bentuk tabel dan grafik dengan *Microsoft Excel*. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika terhadap kualitas air akan dianalisis menggunakan analisis ragam multivariat (ANOVA) dengan *IBM SPSS Statistics 25*. Sebagai variabel independen (bebas/mempengaruhi) adalah penambahan pupuk bio-silika dan remediasi tanah, sedangkan variabel dependen (terikat/dipengaruhi) adalah kualitas air.

## G. Rancangan Penelitian

Penelitian didesain dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL)-faktorial dengan 2 faktor yakni: faktor remediasi tanah (A) (pengeringan, perendaman, pembilasan dan pengapuran) dan faktor penambahan pupuk bio-silika (B). Setiap faktor ada 2 perlakuan (2 x 2), sehingga didapatkan 4 kombinasi perlakuan yaitu:

- a. AOBO
- b. AOBI
- c. AIBO
- d. AIBI

Keterangan:

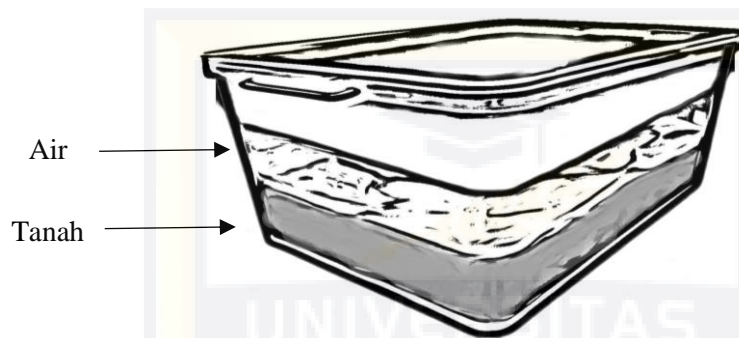
- |    |   |                                    |
|----|---|------------------------------------|
| AO | : | Tanpa remediasi                    |
| AI | : | Dengan remediasi tanah             |
| BO | : | Tanpa penambahan pupuk bio-silika  |
| BI | : | Dengan penambahan pupuk bio-silika |



Setiap kombinasi faktor diulang 3 kali sehingga keseluruhan satuan percobaan terdapat 12 unit (2 x 2 x 3), dengan kode : AOBO1, AOBO2, AOBO3, AOBI1, AOBI2, AOBI3, AIBO1, AIBO2, AIBO3, AIBI1, AIBI2, dan AIBI3.

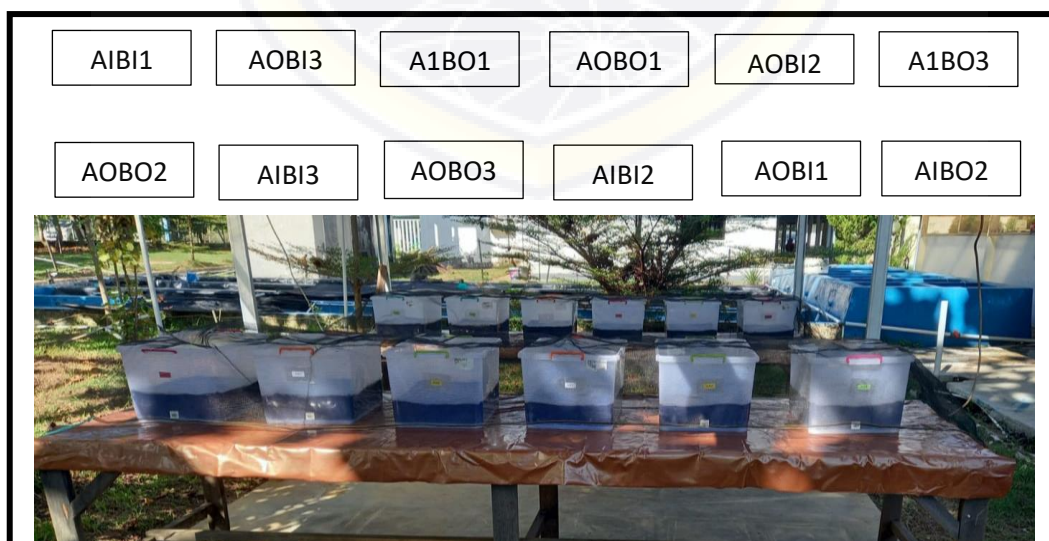
### H. Desain dan Tata Letak Penelitian

Desain wadah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3. 1 Desain wadah penelitian

Tata letak wadah penelitian (Gambar 3.2) ditempatkan sesuai hasil sistem pengundian untuk randomisasi dengan bantuan fungsi “*Rand () Microsoft excel*” sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Tata letak wadah penelitian



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

##### 1. Kualitas Tanah

Media tanah yang diambil di tambak telah diuji untuk memastikan bahwa tanah tambak tersebut adalah tanah sulfat masam, Hasil pengujian insitu dan laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.1. Data ini sebagai data awal kualitas tanah dan pengujian kualitas tanah juga dilakukan pada akhir penelitian dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 1 Kualitas tanah tambak (awal) yang digunakan pada penelitian

No.	Variabel	Nilai	Indikator Lapang
1.	pH <sub>F</sub>	6,72	Vegetasi bakau, paku laut dan rumput teki. Karatan besi dipinggir tambak
2.	pH <sub>FOX</sub>	2,06	
3.	pH <sub>F</sub> -pH <sub>FOX</sub>	4,67	
4.	Potensial Redoks (mV)	-40,43	
5.	S <sub>p</sub> (%)	1,63	
6.	S <sub>KCl</sub> (%)	0,33	
7.	S <sub>POS</sub> (%)	1,29	
8.	TPA (Mol H <sup>+</sup> /ton)	342,13	
9.	TAA (Mol H <sup>+</sup> /ton)	0,00	
10.	TSA (Mol H <sup>+</sup> /ton)	342,13	
11.	N-total (%)	0,23	
12.	PO <sub>4</sub> (ppm)	537,69	
13.	C-organik (%)	3,90	
14.	Fe (ppm)	5314,83	
15.	Al (ppm)	446,83	
16.	Pirit (%)	1,53	

Pada tabel 4.1 terlihat selisih nilai pH (pH<sub>F</sub>-pH<sub>FOX</sub>) lebih besar dari 3 yaitu 4,67. Potensial redoks bernilai negatif dan pengamatan secara visual dijumpai indikator biologi keberadaan tanah masam seperti bakau, paku laut dan rumput teki.

Juga indikator lainnya seperti karatan besi di pinggir tambak dan pada tanah pematang.

Setelah dianalisis di laboratorium (Tabel 4.1), untuk variabel spesifik kualitas tanah sulfat masam seperti  $S_p$ ,  $S_{KCl}$ ,  $S_{POS}$ , TAA, TPA, TSA dan pirit didapatkan nilai yang cukup tinggi dengan kategori sedang. Sedangkan konsentrasi besi dan aluminium tergolong tinggi Begitu pula dengan C organik dan N total tergolong sedang, akan tetapi fosfatnya rendah (Mustafa *et al.*, 2015). Untuk dosis kapur yang diaplikasikan pada wadah penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan dosis kapur yang ditambahkan pada proses remediasi tanah dalam wadah penelitian

Jenis kapur	Aplikasi kapur setara $CaCO_3$ (kg)	Nilai netralisir kapur (NV) (%)	Tingkat efesiensi (ER) (%)	Kebutuhan kapur (kg/ha)	Aplikasi kapur pada wadah ( $g/1485cm^2$ )
Kapur Dolomit Super	39.4611	107	96	38.42	0.57

Hasil perhitungan dosis pupuk silika (N:Si = 1:1) dengan aplikasi “*silica to nitrogen calculator*” juga pupuk TSP dan urea dengan aplikasi “*Redfield Ratio Calculator*” dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Dosis pupuk yang ditambahkan pada wadah sesuai perlakuan penelitian

Jenis pupuk	Dosis Pupuk (mg/30L)
TSP (22%)	68,18
Urea (46%)	202,24
Bio-silika (84%)	2129,11

Tabel 4. 4 Kualitas tanah sulfat masam setelah penelitian

Variabel	Kontrol (AOBO)	Penambahan bio-silika (AOBI)	Remediasi tanah (AIBO)	Bio-silika dan remediasi (AIBI)
pH <sub>F</sub>	6,89±0,41	6,96±0,20	7,22±0,21	6,97±0,29
pH <sub>FOX</sub>	2,56±0,43	2,77±0,47	2,89±0,36	3,08±0,21
pH <sub>F</sub> -pH <sub>FOX</sub>	4,33±0,44	4,19±0,41	4,32±0,18	3,89±0,14
Potensial Redoks (mV)	-40,60±9,47	-45,80±12,05	-34,67±8,42	-18,13±4,31
S <sub>p</sub> (%)	1,53±0,04	1,52±0,006	1,53±0,04	1,49±0,05
S <sub>KCl</sub> (%)	0,23±0,02	0,26±0,003	0,25±0,007	0,25±0,03
S <sub>POS</sub> (%)	1,29±0,06	1,26±0,003	1,28±0,01	1,24±0,07
TPA (Mol H <sup>+</sup> /ton)	354,67±7,97	281,67±16,27	259,17±34,80	257,83±23,69
TAA (Mol H <sup>+</sup> /ton)	0,00	0,00	0,00	0,00
TSA (Mol H <sup>+</sup> /ton)	354,67±7,97	281,67±16,27	259,17±34,80	257,83±23,69
N-total (%)	0,25±0,01	0,27±0,002	0,25±0,001	0,28±0,00
PO <sub>4</sub> (ppm)	118,99±4,92	121,00±9,70	102,53±6,06	116,92±13,83
C-organik (%)	5,57±0,25	5,77±0,56	5,86±0,86	6,73±1,14
Fe (ppm)	5373,17±71,66	5207,50±341,30	4945,17±250,41	4881,83±293,35
Al (ppm)	444,33±40,19	403,67±26,58	396,17±33,04	388,33±31,47
Pirit (%)	1,58±0,04	1,26±0,007	1,16±0,16	1,15±0,11

Kualitas tanah sulfat masam pada akhir penelitian (Tabel 4.4) menunjukkan bahwa tanah yang telah digunakan masih berpotensi masam utamanya pada perlakuan kontrol (AOBI) yang nilainya hampir sama dengan kualitas tanah awal, bahkan ada variabel yang lebih tinggi. Sedangkan untuk perlakuan lainnya yaitu AOBI, AIBO, dan AIBI terjadi penurunan dibanding pada tanah awal kecuali variabel C organik dan N total.

## 2. Kualitas Air

Kualitas air laut yang digunakan untuk proses perendaman pada tahapan remediasi dapat dilihat pada Tabel 4.5 Selanjutnya air laut tersebut digunakan

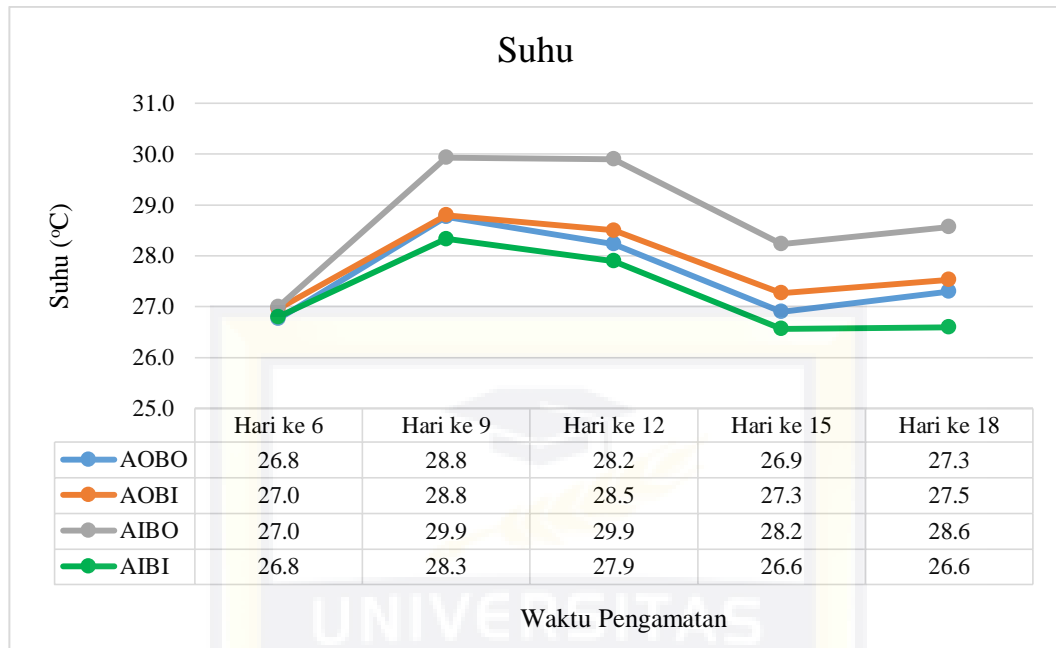
sebagai media penelitian dengan penambahan air tawar hingga salinitas 28-32°C. Data Pengamatan kualitas air selama penelitian dilakukan 5 kali yang dimulai pada hari ke 6 setelah penambahan diatom *Skeletonema sp.* sampai hari ke 18. Data pengamatan dan pengujian tersebut disajikan pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.9 Konsentrasi silika, ammonia dan nitrat dan pada air laut yang digunakan sebagai media penelitian ikut dihitung untuk penentuan dosis pupuk yang ditambahkan.

Tabel 4. 5 Kualitas air laut awal yang digunakan dalam penelitian

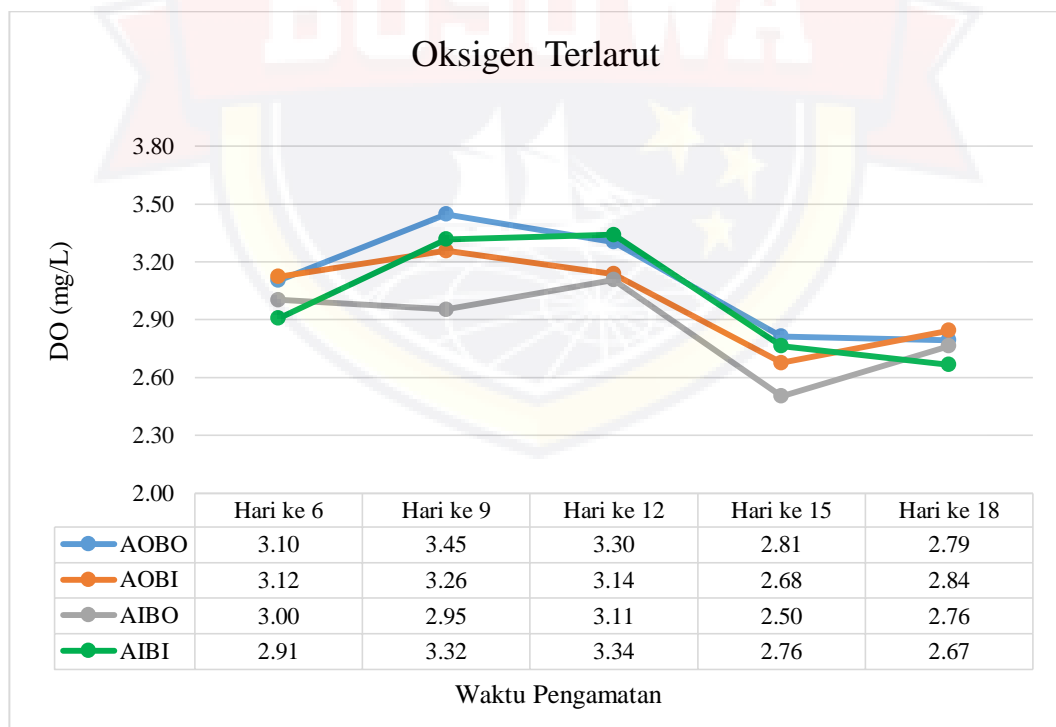
No.	Variabel	Nilai Kualitas Air
1.	Suhu (°C)	26,8
2.	DO (mg/L)	3.03
3.	Salinitas (ppt)	33.53
4.	pH	8.01
5.	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	0.192
6.	PO <sub>4</sub> -N (mg/L)	0.004
7.	NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0.001
8.	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	0.197
9.	BOT (mg/L)	150.23
10.	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	7.9848

Suhu air selama pengamatan yang dimulai pada hari ke 6 sampai hari ke 18 berkisar antara 26,6-29,9°C. Suhu air terendah di hari ke 15 dan 18 pada perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI). Sedangkan suhu air tertinggi pada perlakuan remediasi tanah (AIBO) di hari ke 9 dan 12 (Gambar 4.1). Oksigen terlarut yang diukur pada media penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pengukuran dilakukan pada pagi hari sekitar pukul 09:00–10:00. Hasil pengukuran menunjukkan nilai DO berkisar antara 2,50-3,45 mg/L.

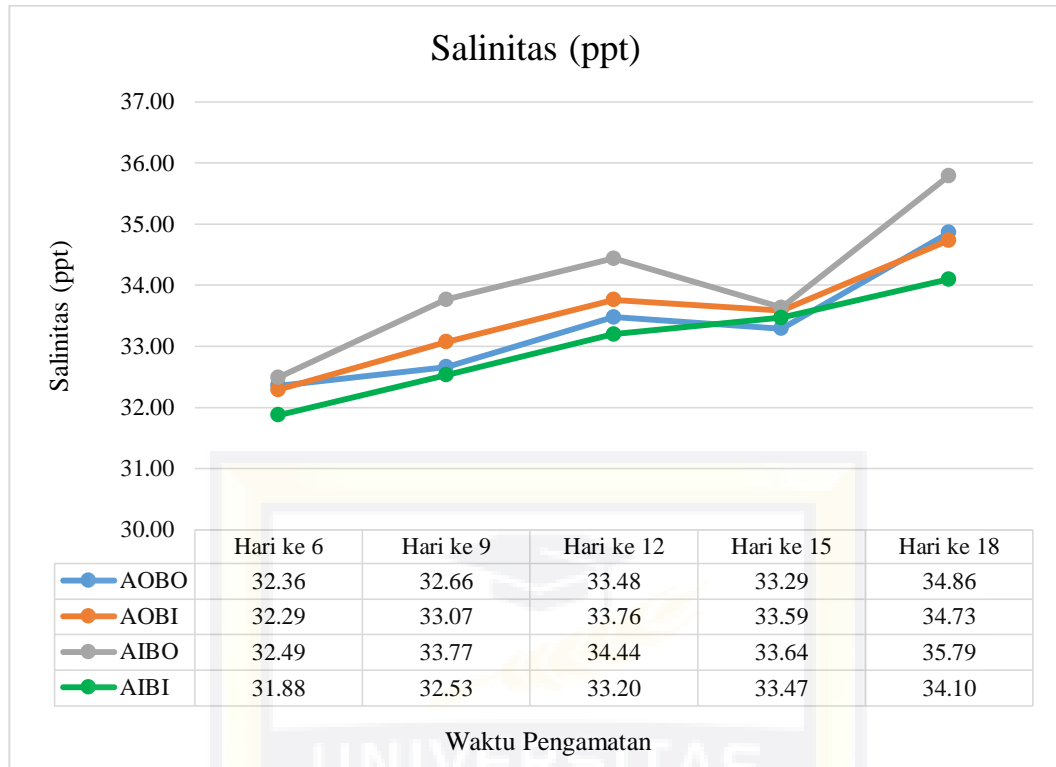
Dimana DO terendah dijumpai pada hari ke 15 untuk perlakuan remediasi tanah (AIBO). Nilai DO tertinggi pada hari ke 9 pada perlakuan kontrol (AOBO).



Gambar 4. 1 Grafik suhu air selama penelitian

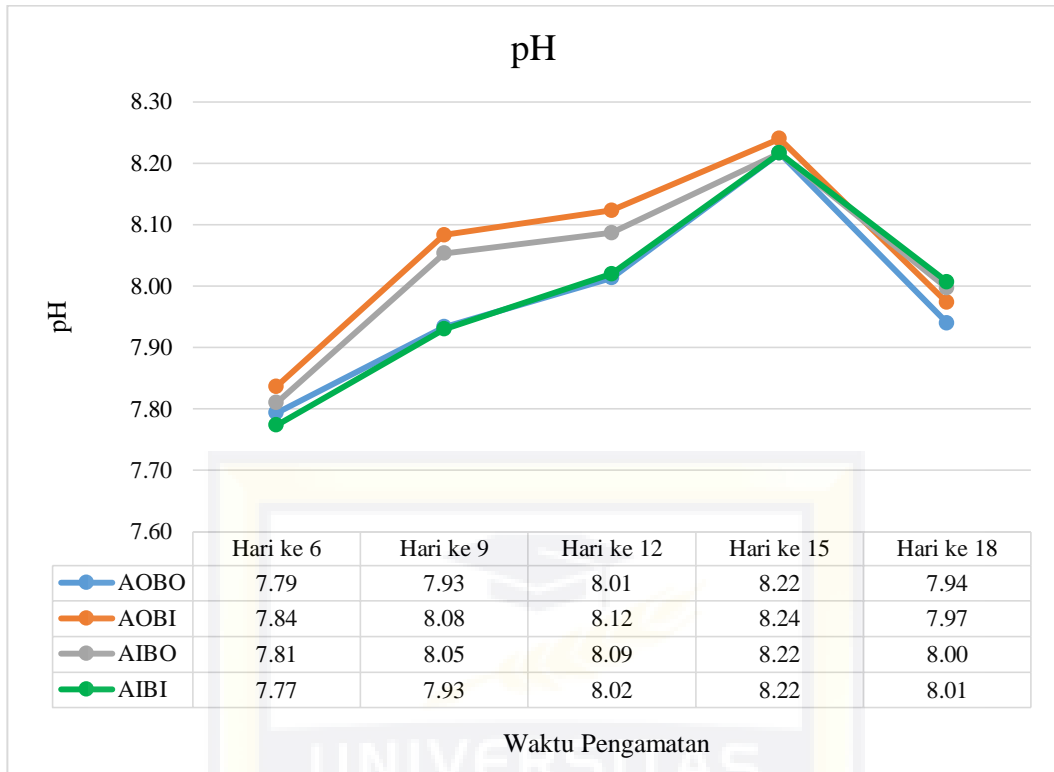


Gambar 4. 2 Grafik oksigen terlarut air selama penelitian

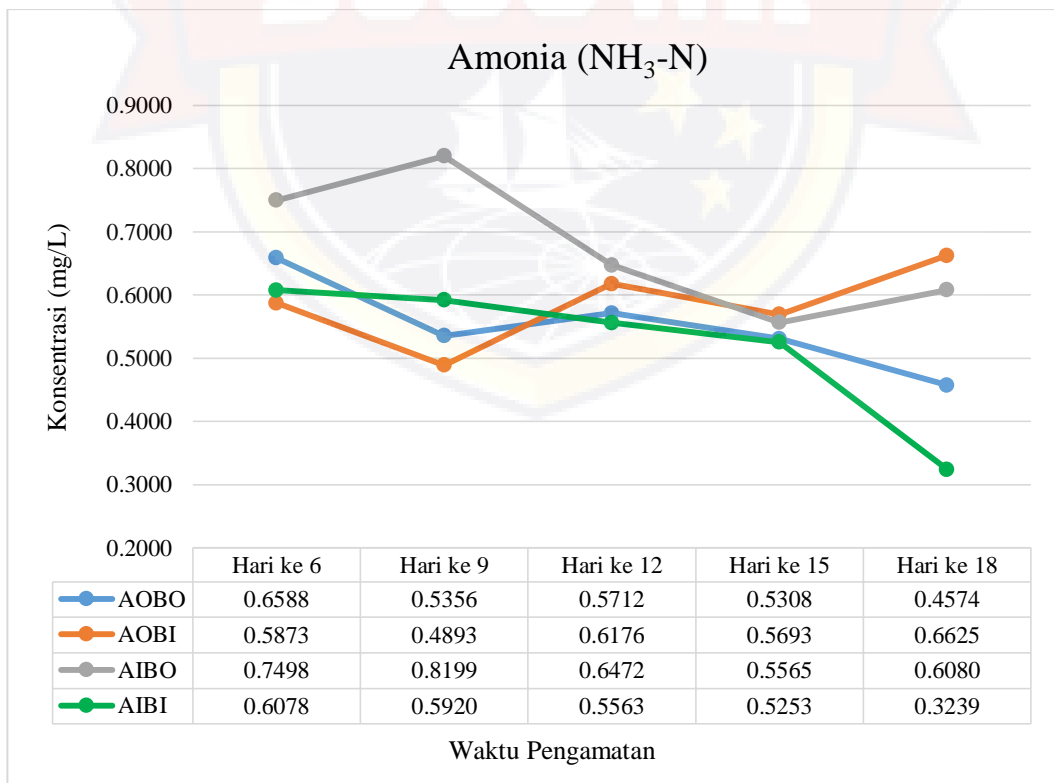


Gambar 4. 3 Grafik salinitas air selama penelitian

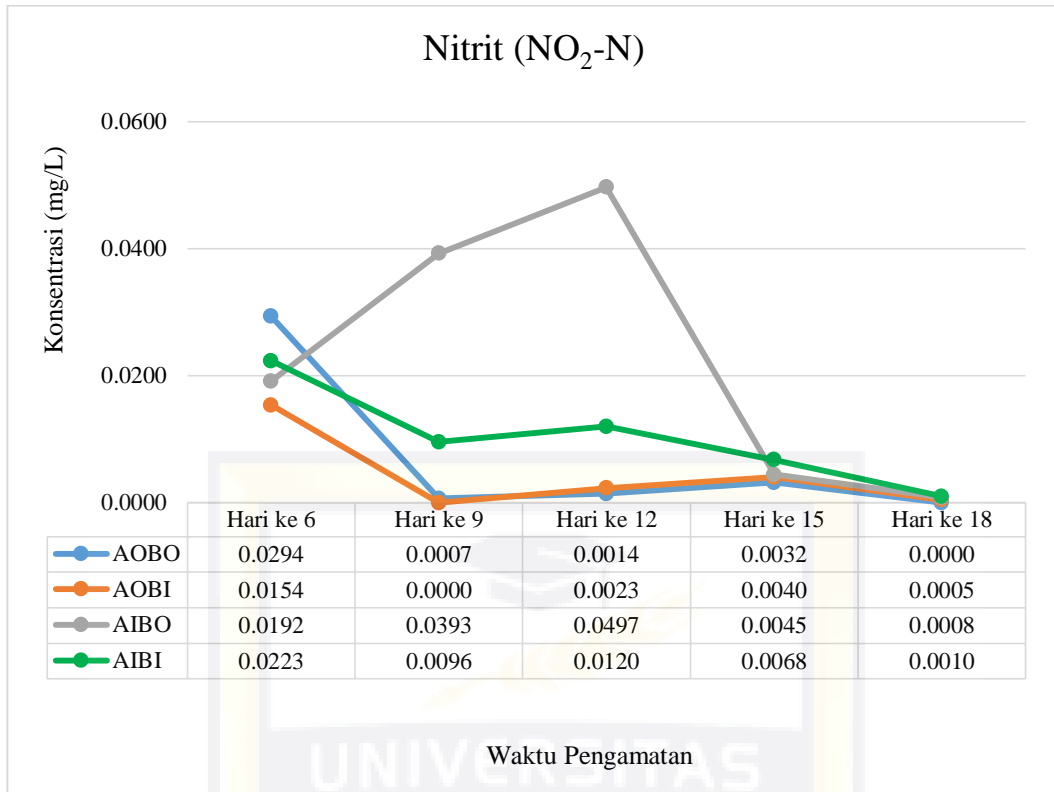
Salinitas air laut dapat dilihat pada Gambar 4.3, terlihat salinitas semakin meningkat seiring bertambahnya hari pengamatan. Salinitas terendah pada hari ke 6 untuk perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI) yaitu 31,4288 ppt. Salinitas tertinggi pada hari ke 18 untuk perlakuan remediasi (AIBO) dengan nilai 35,79 ppt. Sedangkan untuk nilai pH dapat dilihat pada Gambar 4.4 dengan nilai berkisar 7,71-8,22. pH terendah pada hari ke 6 dan tertinggi pada hari ke 15 namun menurun pada hari ke 18. Konsentrasi amonia berkisar 0,3239-0,8199 mg/L (Gambar 4.5). Konsentrasi terendah pada hari terakhir pengamatan yaitu hari ke 18 pada perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI) dan tertinggi pada hari ke 12 pada perlakuan remediasi tanah (AIBO).



Gambar 4. 4 Grafik pH air selama penelitian



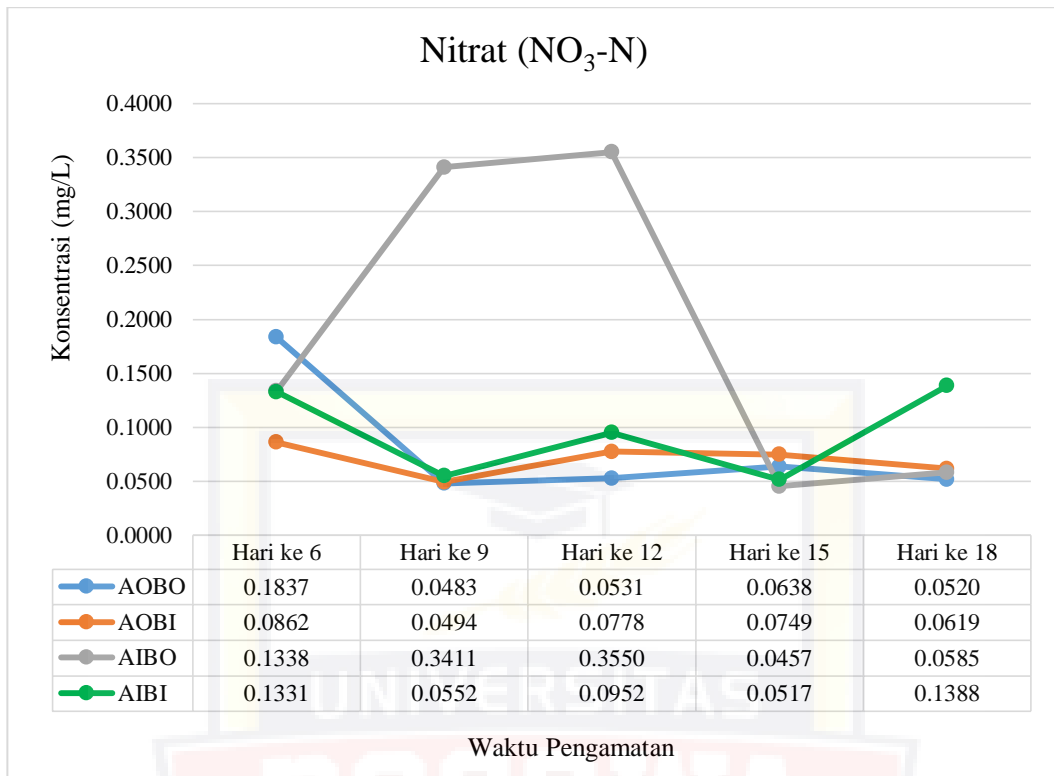
Gambar 4. 5 Grafik konsentrasi amonia air selama penelitian



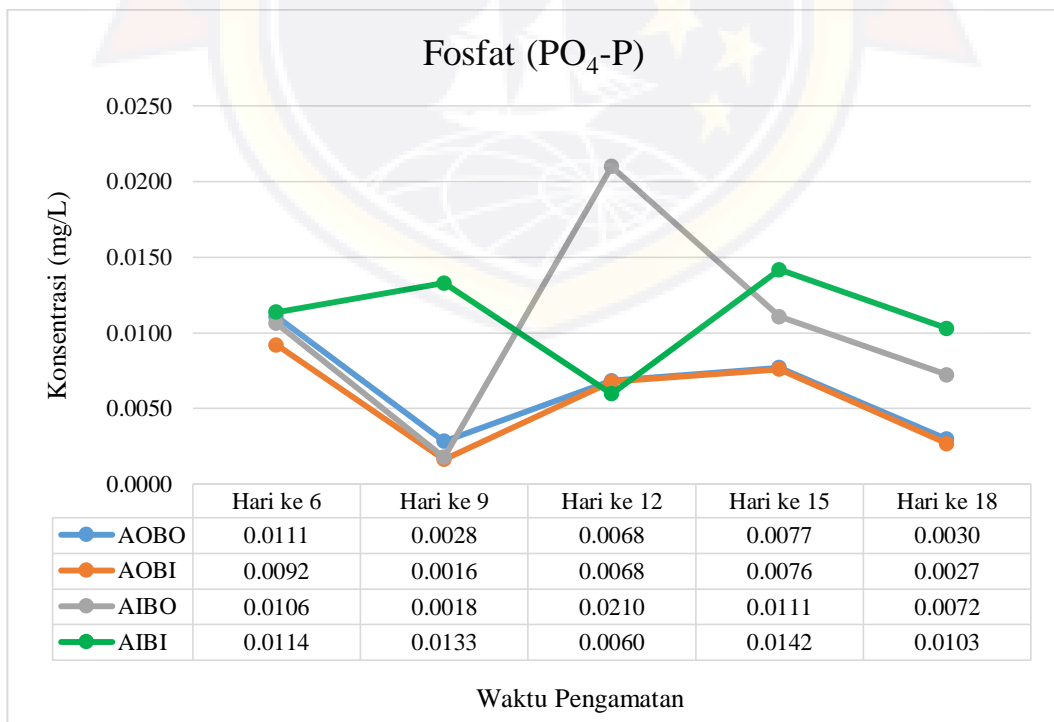
Gambar 4. 6 Grafik konsentrasi nitrit air selama penelitian

Konsentrasi nitrit tertinggi pada perlakuan remediasi (AIBO) pada hari ke 12 sebesar 0,0497 mg/L (Gambar 4.6). Pola yang sama dengan nitrit ditunjukkan pula oleh nitrat dan fosfat pada perlakuan remediasi (AIBO), dimana pada hari ke 12 konsentrasi nitrat tertinggi sebesar 0,3550 mg/L (Gambar 4.7) dan fosfat 0,0210 mg/L (Gambar 4.8). Sedangkan konsentrasi bahan organik total berkisar 137,12-189,18 mg/L), terendah pada perlakuan kontrol (AOBO) dan tertinggi pada perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI) pada hari ke 6 (Gambar 4.9). Selanjutnya konsentrasi silika tertinggi pada perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI) yang mencapai 14,31 mg/L pada hari ke 6 (Gambar 4.10).

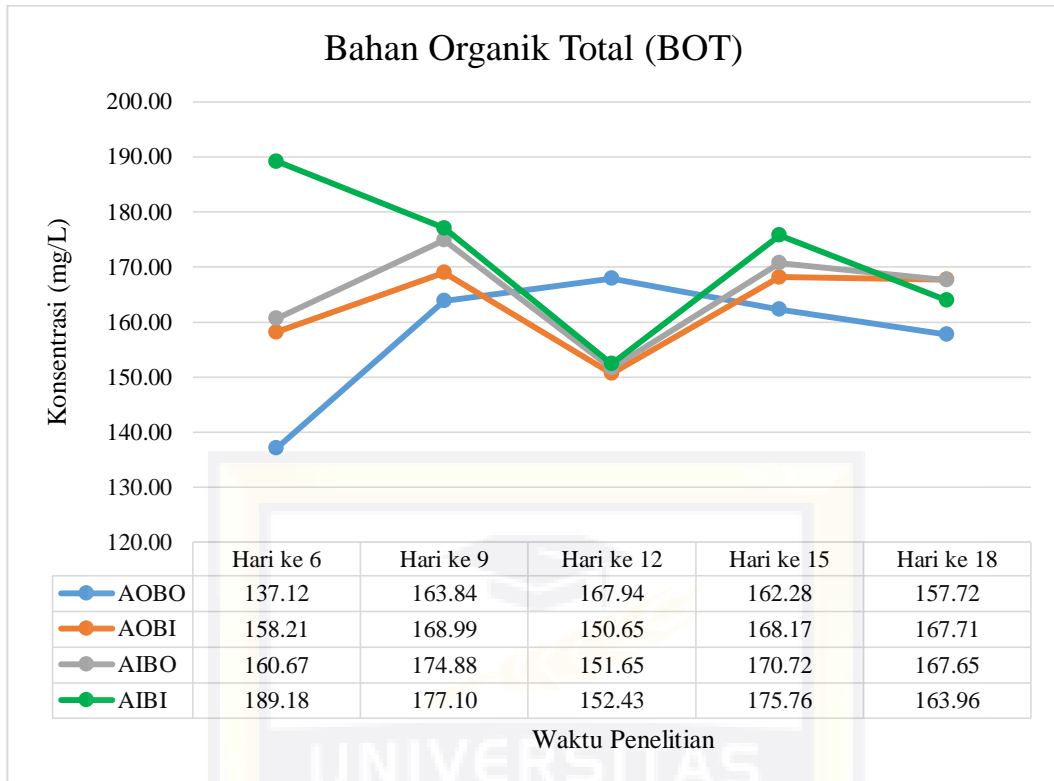




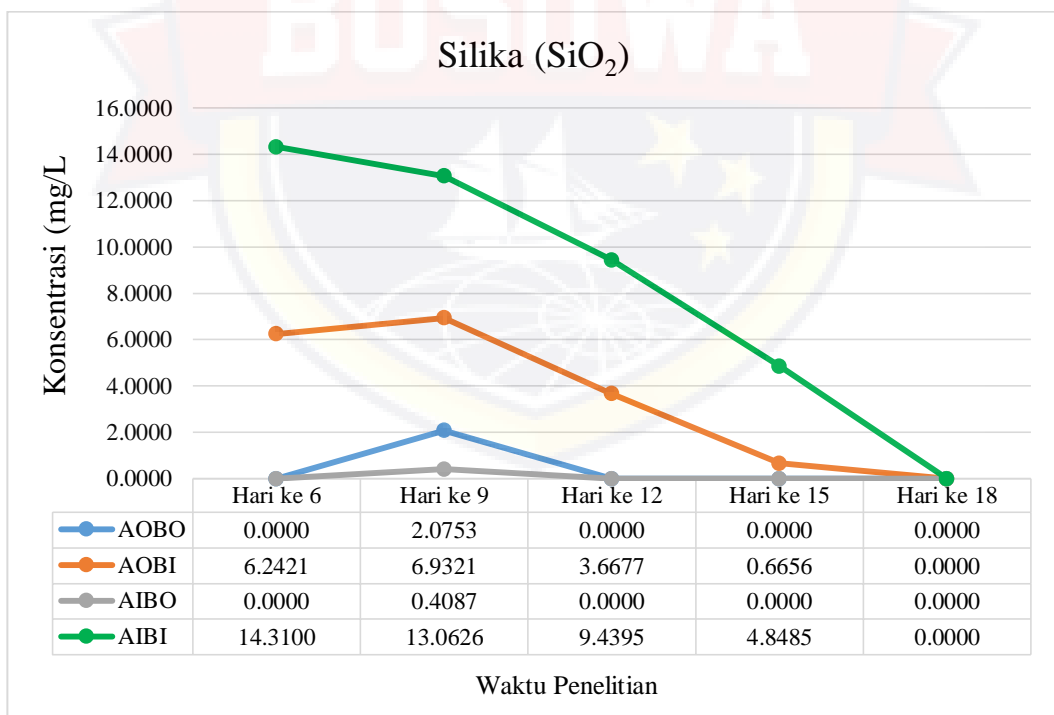
Gambar 4. 7 Grafik konsentrasi nitrat air selama penelitian



Gambar 4. 8 Grafik konsentrasi fosfat air selama penelitian



Gambar 4. 9 Grafik konsentrasi bahan organik total air selama penelitian



Gambar 4. 10 Grafik konsentrasi silika air selama penelitian

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika terhadap kualitas air, data dianalisis menggunakan analisis ragam multivariat. Hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan penambahan pupuk bio-silika (AOBI) berbeda nyata pada variabel amonia, nitrit dan silika. Untuk perlakuan remediasi tanah (AIBO) berbeda nyata pada variabel fosfat, nitrit, nitrat, bahan organik total dan silika. Sedangkan untuk perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI) terhadap kualitas air berbeda nyata pada variabel amonia dan silika (Tabel 4.6).

Tabel 4. 6 Statistik deskriptif kualitas air selama pengamatan multi-temporal

Variabel	Rata-rata ± Standar deviasi			
	Kontrol (AOBO)	Penambahan bio-silika (AOBI)	Remediasi tanah (AIBO)	Remediasi dan bio-silika (AIBI)
Suhu (°C)	27,59±0,31 <sup>a</sup>	27,81±0,43 <sup>a</sup>	28,73±1,06 <sup>a</sup>	27,24±0,48 <sup>a</sup>
DO (mg/L)	3,09±0,17 <sup>a</sup>	3,01±0,12 <sup>a</sup>	2,87±0,10 <sup>a</sup>	3,00±0,04 <sup>a</sup>
Salinitas (ppt)	33,38±0,10 <sup>a</sup>	33,40±0,06 <sup>a</sup>	33,39±0,06 <sup>a</sup>	33,13±0,31 <sup>a</sup>
pH	7,98±0,10 <sup>a</sup>	8,05±0,05 <sup>a</sup>	8,03±0,03 <sup>a</sup>	7,99±0,08 <sup>a</sup>
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	0,5508±0,0235 <sup>a</sup>	0,5852±0,0132 <sup>b</sup>	0,6763±0,0151 <sup>a</sup>	0,5211±0,0762 <sup>c</sup>
PO <sub>4</sub> -N (mg/L)	0,0063±0,0019 <sup>a</sup>	0,0056±0,0020 <sup>a</sup>	0,0103±0,0307 <sup>b</sup>	0,0110±0,0051 <sup>a</sup>
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0,0069±0,0025 <sup>a</sup>	0,0044±0,0010 <sup>c</sup>	0,0227±0,0047 <sup>b</sup>	0,0103±0,0052 <sup>a</sup>
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	0,0802±0,0190 <sup>a</sup>	0,0701±0,0078 <sup>c</sup>	0,1868±0,0837 <sup>b</sup>	0,0948±0,0167 <sup>a</sup>
BOT (mg/L)	157,78±1,52 <sup>a</sup>	162,75±7,46 <sup>a</sup>	165,11±5,65 <sup>b</sup>	171,69±6,27 <sup>a</sup>
Silika (mg/L)	0,5188±0,0804 <sup>a</sup>	4,3769±0,1947 <sup>c</sup>	0,1022±0,1770 <sup>b</sup>	10,4152±0,1735 <sup>d</sup>

Keterangan : Angka rata-rata ± Standar deviasi diikuti huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan berbeda nyata pada taraf 5% (p<0,05)

### 3. Kelimpahan Plankton

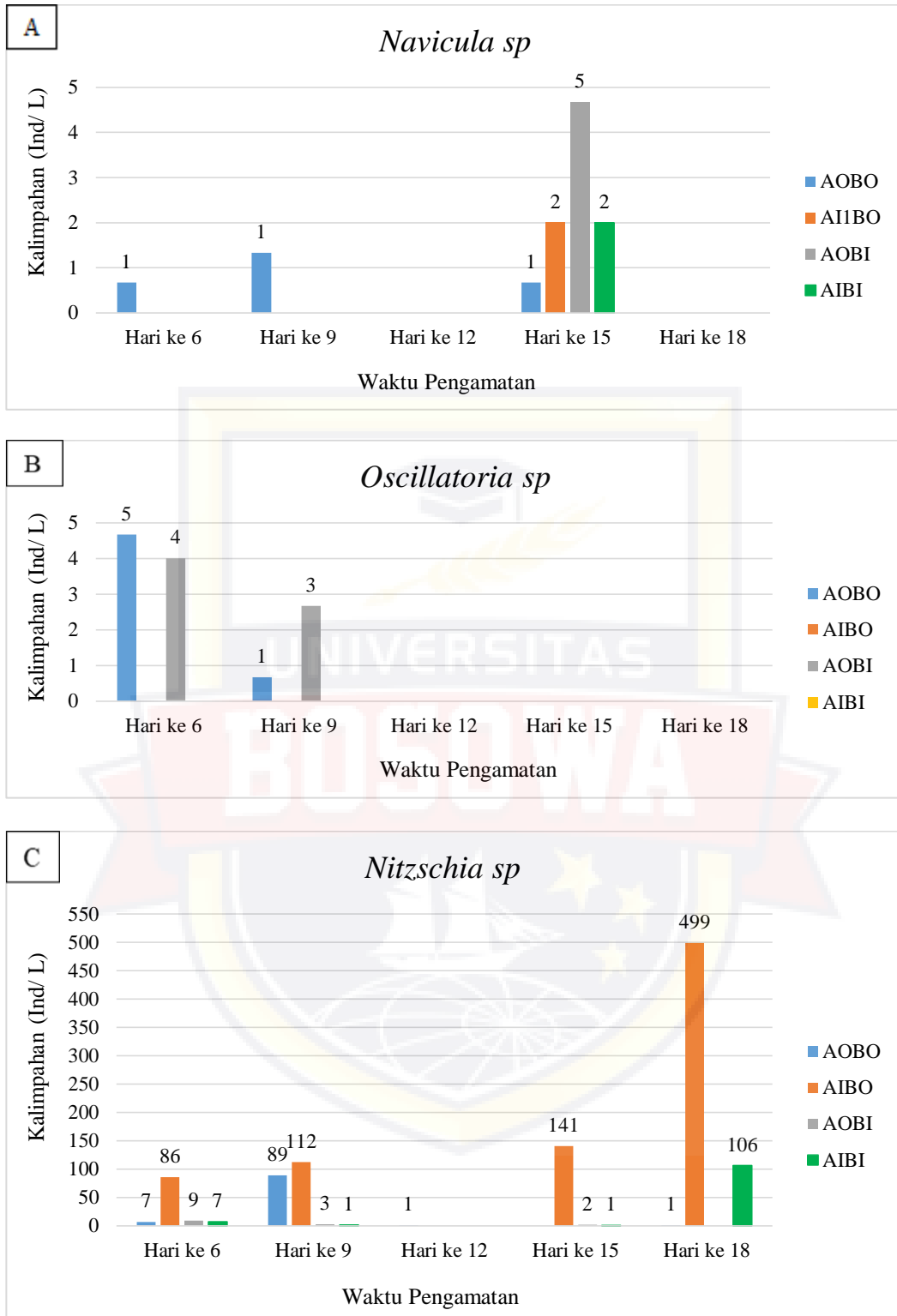
Hasil pengamatan plankton menunjukkan ada 6 spesies fitoplankton dan 4 spesies zooplankton yang teridentifikasi. Fitoplankton tersebut adalah *Navicula sp*, *Oscillatoria sp*, *Nitzschia sp*, *Pseudonitzschia sp*, *Prorocentrum sp*, dan *Skeletonema sp*. Sedangkan zooplankton yaitu *Tintinopsis sp*, *Copepoda sp*,

*Euplotes sp*, *Apocyclops sp*. Kelimpahan plankton pada wadah dengan volume 30L selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.7. Kelimpahan terbesar pada *Nitzschia sp* sebesar 837 (ind/L) disusul *Skeletonema sp* sebesar 291 (ind/L) pada perlakuan remediasi tanah. Terlihat pada perlakuan remediasi (AIBO) dan perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI) kelimpahan fitoplanktonnya lebih banyak.

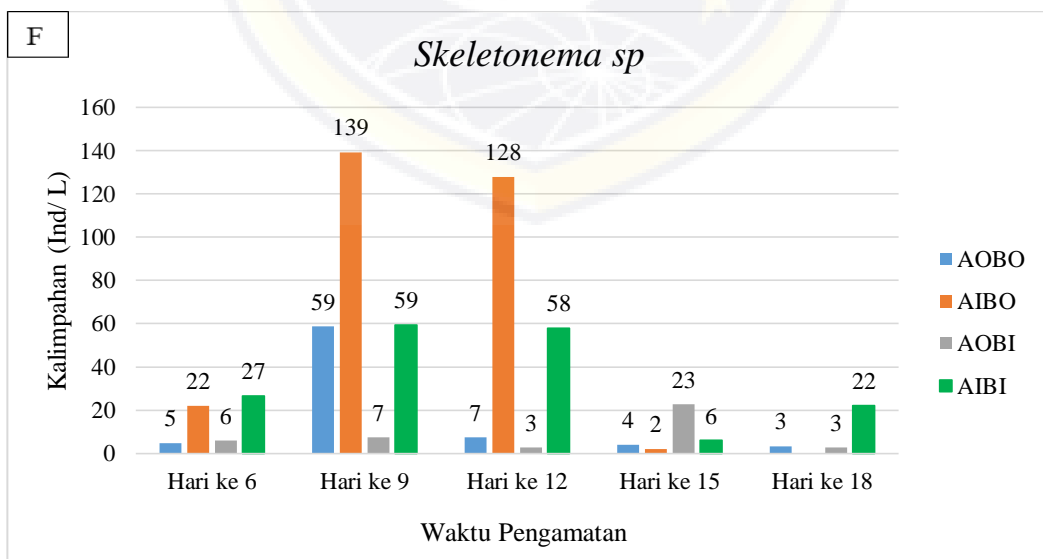
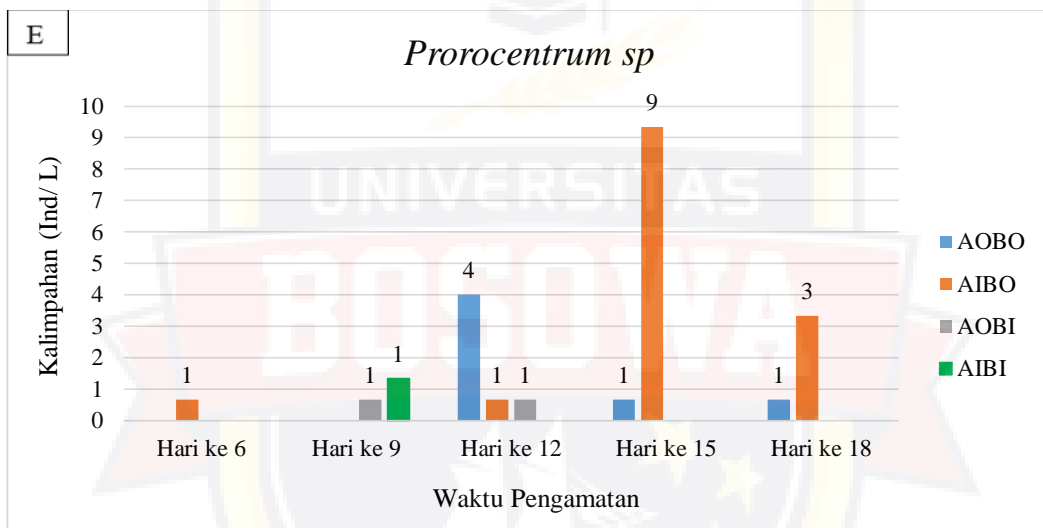
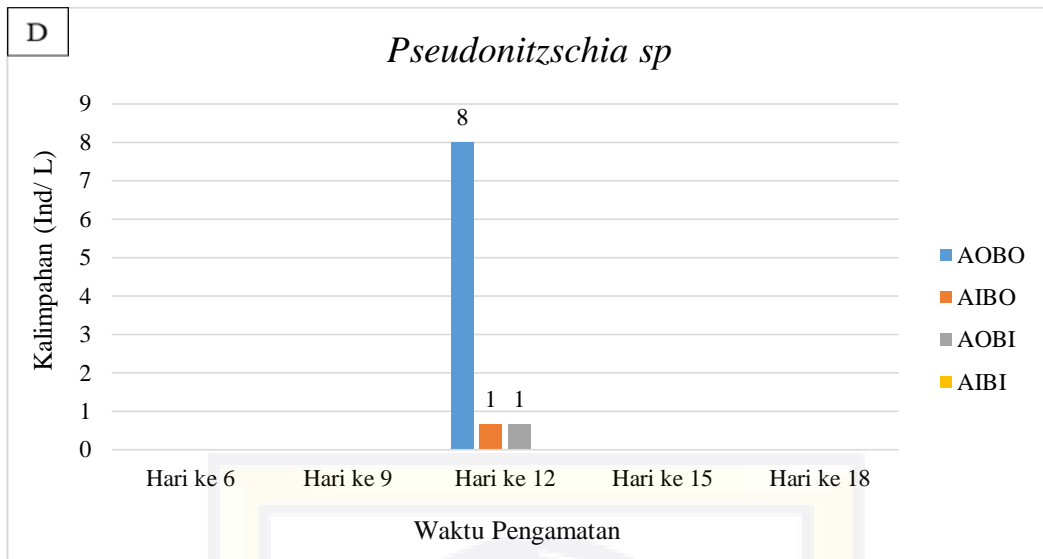
Tabel 4. 7 Kelimpahan plankton pada wadah penelitian

Jenis plankton	Kelimpahan plankton (ind/L)			
	Kontrol (AOBO)	Penambahan bio-silika (AIBI)	Remediasi tanah (AIBO)	Remediasi dan bio-silika (AIBI)
<b>Fitoplankton</b>				
<i>Navicula sp</i>	3	5	2	2
<i>Oscillatoria sp</i>	5	7	0	0
<i>Nitzschia sp</i>	97	14	837	115
<i>Pseudonitzschia sp</i>	8	1	1	0
<i>Prorocentrum sp</i>	5	1	14	1
<i>Skeletonema sp</i>	78	41	291	172
<b>Zooplankton</b>				
<i>Tintinopsis sp</i>	1	1	0	0
<i>Copepoda sp</i>	0	1	0	2
<i>Euplotes sp</i>	1	2	0	0
<i>Apocyclops sp</i>	1	0	0	0

Adapun pola pertumbuhan fitoplankton selama pengamatan multi-temporal dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.12, sedangkan pola pertumbuhan zooplankton dapat dilihat pada Gambar 4.13.



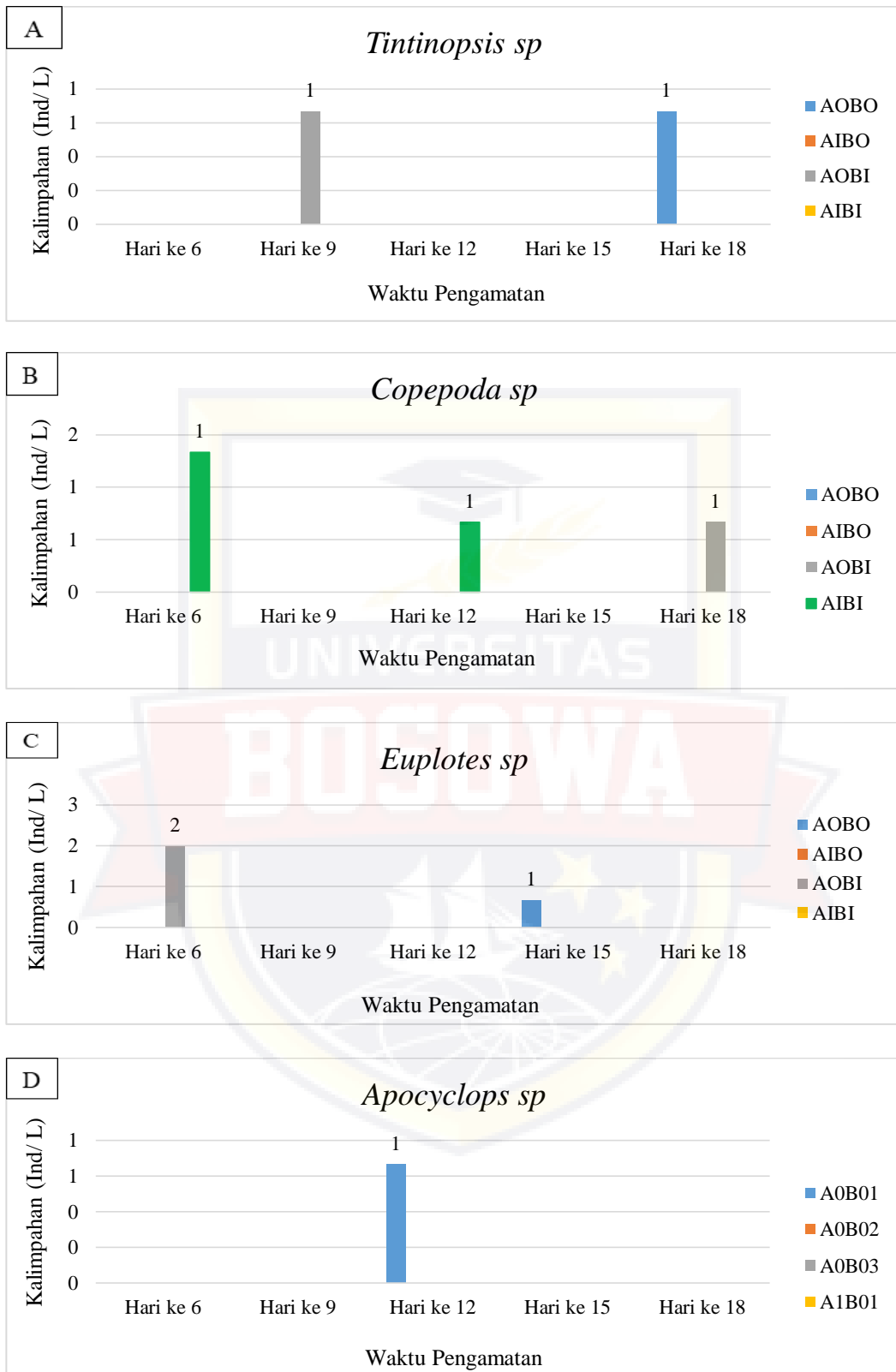
Gambar 4. 11 Grafik pola pertumbuhan fitoplankton selama penelitian (1); A) *Navicula sp.* B) *Oscillatoria sp.* dan C) *Nitzschia sp.*



Gambar 4. 12 Grafik pola pertumbuhan fitoplankton selama penelitian (2); D) *Pseudonitzschia sp*. E) *Prorocentrum sp*. dan F) *Skeletonema sp*.

Pola pertumbuhan *Navicula sp* terlihat pada pengamatan hari ke 15 pada semua perlakuan meskipun jumlahnya sedikit, teridentifikasi pula pada hari ke 6 dan ke 9 pada perlakuan kontrol. Pertumbuhan *Oscillatoria sp* terlihat pada hari ke 6 dan 9 pada perlakuan kontrol dan penambahan pupuk bio-silika. Sementara *Nitzschia sp.* adalah spesies yang paling banyak ditemukan pada pengamatan hari ke 18 pada perlakuan remediasi tanah juga ditemukan pada pada hari ke 6, 9 dan 15. Demikian pula pada hari 18 teridentifikasi juga pada perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika. Sementara itu pada hari ke 12 ditemukan *Pseudonitzschia sp* utamanya pada perlakuan kontrol. *Prorocentrum sp* teridentifikasi pada hari ke 6 pada perlakuan remediasi tanah, hari ke 9 pada perlakuan penambahan pupuk bio-silika, hari ke 12 pada perlakuan kontrol dan penambahan pupuk bio-silika, ke 15 pada perlakuan kontrol dan remediasi, dan hari ke 18 pada perlakuan kontrol dan remediasi tanah. Untuk *Skeletonema sp*, ditemukan pada semua perlakuan namun lebih banyak pada hari ke 9 dan 12 pada perlakuan remediasi tanah.

Selain fitoplankton teridentifikasi juga zooplankton ( Gambar 4.13) seperti *Tintinopsis sp* pada hari ke 9 dan 18 pada perlakuan kontrol dan remediasi tanah. Lalu *Copepoda sp* pada hari ke 6, dan 12 pada perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika juga pada hari ke 18 pada perlakuan penambahan pupuk bio-silika. Sedangkan *Euplotes sp* pada hari ke 15 dan 18 pada perlakuan kontrol dan penambahan pupuk bio-silika. Kemudian *Apocyclops sp* ditemukan pada hari ke 12 pada perlakuan kontrol.



Gambar 4. 13 Grafik pola pertumbuhan zooplankton selama penelitian; A) *Tintinopsis sp.* B) *Copepoda sp.* C) *Euplotes sp.* dan D) *Apocyclops sp.*



## B. Pembahasan

### 1. Kualitas Tanah

TSM terbagi menjadi sulfat masam potensial dan sulfat masam aktual. TSM potensial adalah tanah yang mengandung pirit belum teroksidasi yang berpotensi sangat masam sedangkan TSM aktual adalah tanah yang bereaksi masam yang mengandung ion sulfat (Vithana *et al.*, 2022). Beberapa variabel TSM adalah  $pH_F$  merupakan pH yang langsung di ukur sedangkan  $pH_{FOX}$  menunjukkan potensi pH apabila teroksidasi. Nilai  $pH_F - pH_{FOX}$  dapat digunakan sebagai indikator potensi kemasaman pada TSM. Untuk TSM nilai  $pH_F - pH_{FOX}$  yang lebih besar dari 3.0 menunjukkan potensi kemasaman tinggi (Mustafa *et al.*, 2015; Vithana *et al.*, 2022). Sedangkan Potensial redoks menunjukkan kondisi tanah tereduksi atau teroksidasi. Potensial redoks bernilai negatif mencerminkan kondisi tanah tereduksi atau anaerob. Pada kondisi tambak yang tereduksi akan meningkatkan pH tanah karena adanya penggunaan  $H^+$  dalam reaksi reduksi (Salo *et al.*, 2023). Disamping itu indikator lainnya yang dijumpai seperti indikator biologi dan karatan besi yang merupakan mineral jarosit di pinggir tambak semakin menguatkan keberadaan tanah sulfat masam (Mustafa *et al.*, 2011).

Variabel khas TSM lainnya adalah:  $S_{KCl}$  merupakan sulfur aktual dalam bentuk sulfurik (ion  $SO_4$ ).  $S_P$  yang merupakan sulfur potensial sebagai sulfidik (sulfida) dan  $S_{POS}$  yang menunjukkan sulfur yang teroksidasi pada tanah sulfat masam. Nilai  $S_{POS}$  dijadikan dasar perhitungan kebutuhan kapur (Ahern & McElnea, 2004). TSA dapat ditentukan dari TPA dikurangi TAA, TSA dianalisis untuk menentukan kandungan pirit pada tanah sulfat masam. Variabel-variabel ini bernilai cukup tinggi pada pengukuran awal sebelum digunakan sebagai media

penelitian (Tabel 4.1). Begitu pula unsur toksik seperti Fe dan Al yang tinggi, unsur hara yang rendah seperti C-organik, P-tersedia, dan N-total (Mustafa *et al.*, 2015).

Kualitas TSM, umumnya ada penurunan dan pada akhir penelitian kecuali pada perlakuan kontrol (AOBO) (Tabel 4.4). TSM yang telah mengalami proses remediasi tanah (pengeringan, perendaman dan pembilasan) telah mengeluarkan unsur-unsur beracun hasil oksidasi yang kemudian terlarut pada proses perendaman dan terbuang pada saat pembilasan sehingga kemasaman tanahnya dapat berkurang. Pada pengeringan terjadi proses oksidasi dimana sulfida dikonversi menjadi sulfat oleh bakteri pengoksidasi sulfur. Oksidasi sulfur oleh oksigen dibantu oleh bakteri autotrof yang berperan sebagai katalisator. Selama pengamatan berlangsung, tanah dalam kondisi tergenang sehingga sulfat akan tereduksi menjadi sulfida oleh bakteri pereduksi sulfat (*Desulfovibrio*). Sedangkan Fe merupakan unsur hara esensial yang dapat berada pada kandungan toksin pada tanah-tanah masam (Ebimol *et al.*, 2017). Kandungan besi feri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) yang tinggi terjadi pada tanah dengan pH di bawah 3,5, sedangkan besi fero ( $\text{Fe}^{2+}$ ) terdapat pada tanah tergenang. Secara fisik tanah yang tampak hitam terdapat senyawa  $\text{Fe}^{2+}$  dan akumulasi bahan organik yang sulit terdekomposisi (Vithana *et al.*, 2022). Pada kondisi masam  $\text{Fe}^{2+}$  dapat dioksidasi menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  oleh bakteri kemoautotrof seperti *Thiobacillus ferrooxidans*. Kandungan  $\text{Fe}^{2+}$  biasanya berlebihan pada tanah sulfat masam yang tergenang dan konsentrasinya bisa mencapai ribuan ppm dalam larutan tanah (Ebimol *et al.*, 2017). Fe dan Al tanah dapat menyebabkan fosfat menjadi tidak tersedia. Pada tanah yang pHnya rendah ( $\text{pH} < 5,5$ ),  $\text{PO}_4$  diikat secara kuat oleh Fe dan Al dalam bentuk  $\text{FePO}_4$  atau  $\text{AlPO}_4$  yang tidak larut (Mustafa & Sammut, 2007). Fosfor tersedia di dalam tanah dapat diartikan sebagai P tanah

yang dapat diekstraksikan atau larut dalam air. Pada tanah masam kebanyakan dalam bentuk  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Kandungan karbon organik dan nitrogen dapat mempengaruhi kesuburan tambak. Nitrogen dalam tanah terdapat dalam bentuk organik dan anorganik. Nitrogen dalam bentuk  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$  di dalam tanah berasal dari pupuk yang ditambahkan serta dekomposisi bahan organik (Mustafa *et al.*, 2016). Pada penelitian ini konsentrasi C-organik dan N-total lebih tinggi di akhir dapat disebabkan oleh akumulasi bahan organik yang berasal dari dekomposisi plankton yang mati.

Selain perbaikan kualitas tanah dengan remediasi tanah, pengelolaan TSM lainnya adalah pengapuran dan pemupukan. Pengapuran tanah dimaksudkan untuk menetralkan kemasaman tanah (Tarunamulia *et al.*, 2019). Sedangkan pemupukan dibutuhkan untuk keseimbangan nutrisi pada tanah dan air sebagai media budidaya. Keberhasilan pemupukan tanah tergantung pada keakuratan dalam menentukan kebutuhan dan komposisi nutrisi yang dibutuhkan oleh fitoplankton. Untuk itu dilakukan perhitungan dosis pupuk urea, TSP, dan biosilika sesuai kebutuhan pupuk pada media penelitian untuk fitoplankton utamanya *skeletonema sp.* yang dijadikan target (Tabel 4.2 dan 4.3). Kebutuhan pupuk fosfat menurut (Brindley *et al.*, 2022) untuk kultur *Skeletonema costatum* dan *Chaetoceros calcitrans* adalah 0,1 mg/L. Sementara menurut (Katiyar *et al.*, 2010), kebutuhan pupuk fosfat untuk diatom *Bacillariophyceae* adalah 0,5 mg/L. Dengan dasar ini maka dapat dihitung kebutuhan pupuk urea dengan aplikasi “Redfield Ratio Calculator”. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung kebutuhan pupuk biosilika dengan rasio N:Si (1:1) dengan aplikasi “silica to nitrogen calculator”.

## 2. Kualitas Air.

Kualitas air yang baik sangat penting dalam budidaya utamanya untuk pertumbuhan plankton. Kualitas air yang baik untuk plankton dapat diukur dengan beberapa variabel penting yang mencakup parameter fisik, kimia, dan biologi. Parameter fisik berupa suhu, kekeruhan, ketinggian air dan lain-lain; parameter kimia yaitu pH, DO, salinitas, nitrat, nitrit, ammonia, fosfat, bahan organik, dan lain-lain; parameter biologi seperti plankton dan organisme yang merespon secara khusus terhadap perubahan kualitas air.

Hasil pengukuran kualitas air laut awal (Tabel 4.5) yang digunakan dalam proses perendaman pada tahapan remediasi tanah dan sebagai media penelitian, berperan dalam menentukan kebutuhan nutrisi yang akan ditambahkan. Dosis pupuk yang ditambahkan pada media penelitian didasarkan pada kandungan pupuk dan yang ada pada air laut. Kandungan nitrogen dan silika pada air laut diinput dalam penentuan rasio N:Si=1:1 sesuai penelitian sebelumnya. Air laut yang digunakan untuk media penelitian disaring dengan filter berukuran 0,5 $\mu$ m dengan tujuan untuk meminimalisir zooplankton yang ada pada air laut. Sebab yang akan diamati adalah pola pertumbuhan plankton utamanya diatom, dikhawatirkan zooplankton akan memakan fitoplankton yang menjadi target penelitian. Salinitas air laut disesuaikan dengan salinitas untuk fitoplankton yaitu berkisar 28-32 $^{\circ}$ C (Rudiyanti, 2011).

Dari hasil pengamatan multi-temporal yang dimulai pada hari ke 6 sampai hari ke 18 (5 kali pengamatan) terlihat suhu, DO, salinitas dan pH masih stabil pada setiap kali pengamatan. Hal ini disebabkan karena penelitian dilaksanakan pada lingkungan terkontrol seperti adanya penambahan air tawar dan bantuan aerasi

untuk tetap menjaga kestabilan salinitas dan oksigen terlarut. Meskipun demikian nilai salinitas mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu pengamatan dapat yang disebabkan oleh proses penguapan.

Konsentrasi amonia tertinggi pada perlakuan remediasi tanah (AIBO) dan terendah pada perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI) (Gambar 4.5). Hasil analisis ragam menunjukkan konsentrasi amonia berbeda nyata pada kedua perlakuan tersebut (Tabel 4.6) Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan pupuk bio-silika pada TSM yang telah diremediasi mampu menurunkan konsentrasi ammonia. Sedangkan pada TSM yang tidak diberi pupuk bio-silika konsentrasinya lebih tinggi walaupun tanahnya telah diremediasi. Amonia dapat dihasilkan sebagai produk sampingan dari metabolisme plankton. Amonia yang berlebihan dapat menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan organisme budidaya. Amonia dalam tambak bersifat toksik dalam konsentrasi tinggi, Konsentrasi amonia yang tinggi dapat menyebabkan keracunan bahkan kematian pada organisme akuatik. Namun pada penelitian ini konsentrasi amonia masih kecil sebab pemberian pupuk sudah sesuai dosis yang tepat (Akbarurrasyid *et al.*, 2022).

Nitrit merupakan bagian dari siklus nitrogen dalam ekosistem air, yang berhubungan erat dengan amonia dan nitrat. Seperti halnya dengan amonia, nitrit juga bersifat toksik dalam konsentrasi tertentu. Nitrit dihasilkan dari amonia melalui proses nitrifikasi. Tingkat nitrifikasi oleh bakteri dalam air tambak akan mempengaruhi tingkat produksi nitrit. Jika jumlah bakteri nitrifikasi yang mengoksidasi amonia menjadi nitrit lebih tinggi daripada bakteri nitrifikasi yang mengubah nitrit menjadi nitrat, maka tingkat nitrit dapat meningkat. Suhu yang

tinggi dapat meningkatkan aktivitas bakteri nitrifikasi dan menyebabkan konversi amonia menjadi nitrit lebih cepat (Akbarurrasyid *et al.*, 2022). Pada penelitian terlihat pada Gambar 4.6, konsentrasi nitrit tertinggi pada perlakuan remediasi tanah (AIBO) pada hari ke 12, dan pada hari dan perlakuan yang sama suhu air juga lebih tinggi. Kondisi ini berbeda nyata dengan perlakuan lainnya utamanya pada perlakuan penambahan pupuk bio-silika (AOBI) yang konsentrasinya paling rendah. Pola yang sama pada nitrat yaitu tertinggi pada hari ke 12 pada perlakuan remediasi (AIBO) dan terendah pada perlakuan penambahan pupuk bio-silika (AOBI) (Gambar 4.7). Nitrat merupakan sumber utama nitrogen yang sangat dibutuhkan oleh plankton. Nitrat merupakan hasil akhir dari proses nitrifikasi, di mana bakteri nitrifikasi mengoksidasi amonia menjadi nitrit, dan selanjutnya nitrat. Namun demikian dapat kita lihat pada Gambar 4.8 konsentrasi nitrat mengalami penurunan hari ke 15 hingga hari ke 18. Hal ini mengindikasikan perlunya penambahan pupuk nitrat sebelum hari ke 15 agar rasio unsur-unsur penunjang kehidupan fitoplankton tetap stabil. Dalam budidaya perikanan dikenal dengan pemberian pupuk susulan (Akbarurrasyid *et al.*, 2022). Selain nitrat, fosfat juga merupakan nutrisi yang dibutuhkan oleh fitoplankton, yaitu mikroorganisme fotosintetik yang menjadi dasar rantai makanan. Fosfat adalah nutrisi penting bagi pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi organisme budidaya. Fosfor berpartisipasi dalam berbagai siklus biogeokimia dan berperan penting untuk menjaga keseimbangan nutrisi dalam air tambak (Akbarurrasyid *et al.*, 2022). Konsentrasi fosfat tertinggi juga pada hari ke 12 dan menurun pada hari ke 15 hingga hari ke 18 pada perlakuan remediasi (AIBO). Pola yang sama antar fosfat dan nitrat, semakin menguatkan asumsi adanya kebutuhan nutrisi yang harus

ditambahkan sebelum hari ke 15. Konsentrasi fosfat lebih tinggi pada perlakuan remediasi (AIBO) dapat disebabkan karena berkurangnya Al dan Fe yang terbuang pada saat pembilasan. Fe dan Al dapat mengikat fosfat sehingga tidak tersedia dalam air tambak.

Bahan organik dalam air tambak terdiri dari sisa-sisa organisme budidaya, sisa-sisa pakan yang tidak dimakan, kotoran organisme, dan material organik lainnya. Bahan organik dapat menjadi sumber nutrisi bagi organisme akuatik seperti fitoplankton dan bakteri. Fitoplankton, yang merupakan produsen utama dalam rantai makanan tambak, memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi untuk melakukan fotosintesis dan tumbuh (Liu *et al.*, 2021). Bahan organik berperan dalam siklus nutrisi dalam ekosistem air tambak. Ketika bahan organik terdekomposisi oleh bakteri dan mikroorganisme, nutrisi seperti nitrogen dan fosfor akan dilepaskan kembali ke air, yang dapat digunakan oleh organisme lain dalam ekosistem (Xu *et al.*, 2017). Konsentrasi bahan organik dalam air tambak dapat mempengaruhi kualitas air. Jika bahan organik terlalu banyak, dekomposisi bakteri yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air (*hipoksia*) dan mempengaruhi kesehatan organisme akuatik. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi bahan organik pada perlakuan remediasi tanah (AIBO) dan secara visual terlihat lebih keruh (Gambar 4.9). Hal ini dapat disebabkan oleh tingkat populasi plankton yang lebih banyak. Remediasi tanah dapat memperbaiki kualitas air, sehingga plankton dapat tumbuh dan berkembang dengan baik.

Ketersediaan silika dalam air tambak akan mendukung pertumbuhan diatom, yang pada gilirannya akan menjadi pakan alami bagi organisme akuatik

seperti zooplankton dan larva ikan. Penambahan pupuk bio-silika merupakan alternatif dalam peningkatan kelimpahan fitoplankton jenis diatom (Fitriani *et al.*, 2017). Perlakuan pemberian pupuk bio-silika pada tanah yang telah diremediasi menghasilkan silika lebih banyak daripada pemberian pupuk bio-silika tetapi tanahnya tidak diremediasi (Gambar 4.10).

### **3. Kelimpahan Plankton**

Plankton adalah pakan alami bagi larva ikan dan udang. Plankton cenderung lebih aktif dalam suhu rentang tertentu, perubahan suhu yang ekstrem dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan plankton. Demikian pula dengan oksigen terlarut, konsentrasi oksigen yang rendah dapat menyebabkan stress dan kematian pada plankton. Plankton juga memerlukan cahaya matahari untuk fotosintesis.

Secara umum untuk pertumbuhan fitoplankton dibutuhkan lebih banyak nitrogen (N) daripada fosfat (P), dengan rasio berkisar 16:1 (Permatasari, 2017) Sementara itu nitrogen (N) dan secara spesifik silikon (Si) adalah nutrisi anorganik fundamental yang dibutuhkan untuk pertumbuhan diatom (Boyd, 2014). Lebih lanjut Gilpin *et al.*, (2004) menemukan perubahan komposisi diatom terjadi ketika rasio N:Si lebih besar atau sama dengan 4, dan pada kasus lain ditemukan rasio lebih besar atau sama dengan 3 sudah menghambat pertumbuhan (Boyd, 2014). Rata-rata rasio karbon, nitrogen, silikon, fosfat (C:N:Si:P) pada dinding sel diatom adalah 100:10:1:1, dengan demikian diatom membutuhkan jumlah N dan Si yang sama untuk pertumbuhan.



Plankton yang teridentifikasi selama penelitian menunjukkan plankton yang umum dijumpai pada perairan budidaya tambak (Hasnawi *et al.*, 2020). Namun demikian terdapat pula spesies plankton yang berpotensi HABs yaitu *Prorocentrum sp* dan *Nitzschia sp* seperti yang ditemukan oleh Tarunamulia *et al.*, 2016 di Kabupaten Cirebon. Pertumbuhan plankton optimum pada hari ke 12, pada hari ke 15 kelimpahan plankton mulai berkurang selanjutnya banyak yang mati pada hari ke 18 akibat kekurangan nitrogen, fosfat dan silika (Gambar 4.11 dan 4.12). Kelimpahan fitoplankton lebih banyak dijumpai pada air yang tanahnya telah diremediasi (AIBO dan AIBI). Kelimpahan plankton *Navicula sp* optimum pada hari ke 15, *Oscillatoria sp* pada hari ke 6, *Nitzschia sp* pada hari ke 18, *Pseudonitzschia sp* pada hari ke 12, *Prorocentrum sp* pada hari ke 15 dan *Skeletonema sp* pada hari ke 9. Pada hari ke 18 disaat nutrisi dalam air berkurang dan salinitas semakin tinggi yang berkembang adalah *Nitzschia sp* (Gambar 4.11), sebab jenis plankton ini mampu mengambil nitrogen dari udara dan dapat hidup pada salinitas 32-35 ppt (Walid, 2018).

Sementara itu pada perlakuan selain remediasi ditemukan 4 spesies zooplankton. Zooplankton ini diduga berasal dari media tanah yang tidak diremediasi dan kecil kemungkinan dari air sebab air laut sebelum digunakan, telah melalui proses penyaringan. Hal ini diperkuat dengan tidak ditemukannya zooplankton pada tanah yang telah melalui proses remediasi. Namun demikian pada perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk bio-silika (AIBI) teridentifikasi adanya *copepoda sp* sehingga bisa menjadi penyebab kelimpahan fitoplankton pada perlakuan ini lebih sedikit dibanding dengan pada perlakuan

remediasi tanah (AIBO). Seperti diketahui fitoplankton merupakan makanan bagi zooplankton, dan zooplankton adalah makan bagi larva.

## **KESIMPULAN**

Kualitas air tambak tanah sulfat masam sangat dipengaruhi oleh pengelolaan tanah dan dosis pupuk yang tepat. Perlakuan interaksi remediasi tanah dan penambahan pupuk silika (AIBI) berpengaruh nyata terhadap penurunan konsentrasi amonia dan peningkatan konsentrasi silika. Pada hari ke 15, kualitas air mulai menurun dan kelimpahan fitoplankton juga ikut menurun, sehingga diperlukan pemupukan susulan dengan dosis yang tepat sebelum hari ke 15.

## **SARAN**

1. Sebaiknya dilakukan pemupukan susulan sebelum hari ke 15 agar keseimbangan nutrien untuk plankton dapat terus terjaga.
2. Penelitian sebaiknya dilaksanakan pada musim kemarau agar proses remediasi lebih optimal.
3. Perlu penelitian lebih lanjut untuk skala yang lebih besar misalnya pada tambak percobaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahern, C. R., Blunden, B., Sullivan, L. A., & McElnea, A. . (2004). Soil sampling, handling, preparation and storage for analysis of dried samples. In *Acid sulfate soils laboratory methods guidelines* (pp. B1-1–5). <http://www.nrme.qld.gov.au/land/ass>
- Ahern, C. R., & McElnea, A. (2004). Calculated sulfur parameters. In *Acid sulfate soils laboratory meth- ods guidelines* (pp. B11-1–2). Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia. <http://www.nrme.qld.gov.au/land/ass>
- Ahern, C. R., McElnea, A., & Sulivian, L. A. (2004). Overview of Analytical Methods for Dried and Ground ASS Samples. In *Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines* (pp. A2-1–21). Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia. <http://www.nrme.qld.gov.au/land/ass>
- Akbarurrasyid, M., Prajayati, V. T. F., Nurkamalia, I., Astiyani, W. P., & Gunawan, B. I. (2022). Hubungan Kualitas Air dengan Struktur Komunitas Plankton Tambak Udang Vannamei. *Jurnal Penelitian Sains*, 24(2), 90. <https://doi.org/10.56064/jps.v24i2.688>
- APHA. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21st ed.). Association American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Bhattacharjya, R., Kiran Marella, T., Tiwari, A., Saxena, A., Kumar Singh, P., & Mishra, B. (2020). Bioprospecting of marine diatoms Thalassiosira, Skeletonema and Chaetoceros for lipids and other value-added products. *Bioresource Technology*, 318, 124073. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.124073>
- Bhattacharjya, R., Singh, P. K., & Tiwari, A. (2021). Aquaculture water as a source of sustainable growth medium for diatom cultivation and its nutritive suitability as a potential aqua feed. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101987. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101987>
- Boyd, C. E. (1990). Water quality in ponds for aquaculture. *Alabama*, 482. [https://books.google.com/books/about/Water\\_Quality\\_in\\_Ponds\\_for\\_Aquaculture.html?id=oVY5AQAAIAAJ](https://books.google.com/books/about/Water_Quality_in_Ponds_for_Aquaculture.html?id=oVY5AQAAIAAJ)
- Boyd, C. E. (2014). Silicon, Diatoms In Aquaculture. *Global Aquaculture*

*Advocate*, 39. <https://www.globalseafood.org/advocate/silicon-diatoms-in-aquaculture/>

Boyd, C. E. (2019). *Thoughts on pond fertilization - Responsible Seafood Advocate*. Global Aquaculture Advocate. <https://www.globalseafood.org/advocate/thoughts-on-pond-fertilization/>

Brindley, C., Khozin-Goldberg, I., V Bastos, C. R., Maia, I. B., Pereira, H., Navalho, J., & S Varela, J. C. (2022). *Optimisation of Biomass Production and Nutritional Value of Two Marine Diatoms (Bacillariophyceae), Skeletonema costatum and Chaetoceros calcitrans*. <https://doi.org/10.3390/biology11040594>

Buddendorf, C. (2022). *Free of algae with Redfield Ratio*. Aquariumpagina's An. [https://buddendo.home.xs4all.nl/aquarium/redfield\\_eng.htm](https://buddendo.home.xs4all.nl/aquarium/redfield_eng.htm)

Choudhury, A. K., & Bhadury, P. (2015). Relationship between N : P : Si ratio and phytoplankton community composition in a tropical estuarine mangrove ecosystem. *Biogeosciences Discussions*, 12(3), 2307–2355. <https://doi.org/10.5194/bgd-12-2307-2015>

Davidson, K., Gowen, R. J., Tett, P., Bresnan, E., Harrison, P. J., McKinney, A., Milligan, S., Mills, D. K., Silke, J., & Crooks, A. M. (2012). Harmful algal blooms: How strong is the evidence that nutrient ratios and forms influence their occurrence? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115, 399–413. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2012.09.019>

Dhaneswara, D., Fatriansyah, J. F., Situmorang, F. W., & Haqoh, A. N. (2020). Synthesis of Amorphous Silica from Rice Husk Ash: Comparing HCl and CH<sub>3</sub>COOH Acidification Methods and Various Alkaline Concentrations. *International Journal of Technology*, 11(1), 200–208. <https://doi.org/10.14716/IJTECH.V11I1.3335>

Ebimol, N. L., Suresh, P. R., Binitha, N. K., & Santhi, G. R. (2017). Management of Iron and Aluminium Toxicity in Acid Sulphate Soils of Kuttanad. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 1496–1503. <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2017.611.177>

Fitriani, Fendi, & Rochmady. (2017). Pengaruh pemberian pupuk anorganik ( NPK + Silikat ) dengan dosis berbeda terhadap kepadatan *Skeletonema costatum* pada pembenihan udang windu Effect of inorganic fertilizer (NPK + Silicate)

with different dosage to *Skeletonema costatum* density on hatche. *Jurnal Akuakultur, Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil*, 1(1), 11–18. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.29239/j.akuatikisle.1.1.11-18> Artikel

Fusinato, M. D., Farias, M. A., Amaral, S., Irigon De Irigon, P., Calgaro, C. O., Gil De Los Santos, D., José, P., & Filho, S. (2022). Silica extraction from rice hull ash through the sol-gel process under ultrasound. *Environmental Science and Pollution Research*, 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23687-1>

Gilpin, L. C., Davidson, K., & Roberts, E. (2004). The influence of changes in nitrogen: Silicon ratios on diatom growth dynamics. *Journal of Sea Research*, 51(1), 21–35. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2003.05.005>

Han, Y., Boyd, C. E., & Viriyatum, R. (2014). A bicarbonate titration method for lime requirement to neutralize exchangeable acidity of pond bottom soils. *Aquaculture*, 434, 282–287. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2014.08.031>

Hasani, Q., Adiwilaga, E. M., Tunjung, N., & Pratiwi, M. (2012). The Relationship between the Harmful Algal Blooms (HABs) Phenomenon with Nutrients at Shrimp Farms and Fish Cage Culture Sites in Pesawaran District Lampung Bay. *Makara Journal of Science*, 16(3), 183–191. <https://doi.org/10.7454/mss.v16i3.1480/Makara>

Hasnawi, Utojo, Tarunamulia, & Kamariah. (2020). Species composition and individual abundance of plankton in acid sulfate soil brackishwater ponds in Kotabaru Regency, South Kalimantan Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 564(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/564/1/012001>

Hazelton, P., & Murphy, B. (2019). Interpreting Soil Test Results. In *NSW Department of Natural Resources* (2nd ed.). CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1071/9781486303977>

Imanudin, M. S., Satria, J. P., Budianta, D., & Charli, C. (2021). Leaching Treatment of Acid Sulphate Soil and Crop Adaptation Test under Micro Scale Condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 757(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/757/1/012036>

Junda, M., Nani, K., & Yunisda, M. (2015). Pengaruh Pemberian *Skeletonema costatum* dengan Kepadatan Berbeda Terhadap Sintasan *Artemia salina*. *Bionature*, 16(1), 21–27.

- Kamariah, Anugriati, Makmur, & Fahrur, M. (2012). Distribusi Spasial Pirit (FeS<sub>2</sub>) pada Lahan Tambak di Kecamatan Bontoa. *Prosiding Indoaqua - Forum Inovasi Teknologi Akuakultur 2012*, 917–924.
- Kamariah, Hasnawi, & Tarunamulia. (2019). Spasio-temporal characterization of water quality in the pond and around minapolitan-based aquaculture zone. *Simposium Nasional Kelautan Dan Perikanan VI Unhas*, 259–268.
- Kamariah, & Tarunamulia. (2016). Struktur Komunitas Fitoplankton di Tambak Silvofishery Kabupaten Subang, Jawa Barat. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*, 263–269.
- Karananidi, P., Valente, T., Braga, M. A. S., Reepei, M., Pechy, M. I. N. F., Wang, Z., Bachmann, R. T., Jusop, S., & Som, A. M. (2022). Acid sulfate soils decrease surface water quality in coastal area of West Malaysia: Quo Vadis? *Geoderma Regional*, 28, e00467. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00467>
- Katiyar, D., Lall, A. ., & Singh, B. (2010). Effect of phosphate on growth of Diatoms. *Indian Journal of Scientific Research*, 1(2), 103–106.
- Khan, M. J., Bawra, N., Verma, A., Kumar, V., Pugazhendhi, A., Joshi, K. B., & Vinayak, V. (2020). Cultivation of diatom *Pinnularia saprophila* for lipid production: A comparison of methods for harvesting the lipid from the cells. *Bioresource Technology*, 319, 124129–124129. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.124129>
- Kluczka, J., ZoŁotajkin, M., & Ciba, J. (2012). Speciation of aluminium in the water and bottom sediment of fish-breeding ponds. *Archives of Environmental Protection*, 38(1), 83–96. <https://doi.org/10.2478/V10265-012-0007-7>
- Lestari, D. P., Ekawati, A. W., & Maftuch, M. (2014). Dried *Skeletonema costatum* in Feed Formulation for the Growth of Vaname Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *The Journal of Experimental Life Sciences*, 4(2), 45–49. <https://doi.org/10.21776/ub.jels.2014.004.02.04>
- McElnea, A. E., & Ahern, C. R. (2004a). KCl extractable pH (pHKCl) and titratable actual acidity (TAA). In *Acid sulfate soils laboratory methods guidelines* (pp. B2-1–3). Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia. <http://www.nrme.qld.gov.au/land/ass>



- McElnea, A. E., & Ahern, C. R. (2004b). Peroxide pH (pHOX ), titratable peroxide acidity (TPA) and excess acid neutralising capacity (ANCE). In *Acid sulfate soils laboratory methods guidelines* (pp. B3-1–7). Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia. <http://www.nrme.qld.gov.au/land/ass>
- McElnea, A. E., & Ahern, C. R. (2004c). Sulfur-peroxide oxidation method. In *Acid sulfate soils laboratory methods guidelines* (pp. B7-1-B7-2). Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia. <http://www.nrme.qld.gov.au/land/ass>
- McElnea, A. E., & Ahern, C. R. (2004d). Sulfur 1M KCl extraction (SKCl). In *Acid sulfate soils laboratory methods guidelines* (p. B8.1-2). Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, Australia. <http://www.nrme.qld.gov.au/land/ass>
- Menon, R. G. (1973). *Soil and Water Analysis: A Laboratory Manual for the Analysis of Soil and Water*. Proyek Survey O.K.T. Sumatera Selatan.
- Mustafa, A., Rachmansyah, & Kamariah. (2011). Karakteristik Tanah di Bawah Tegakan Jenis Vegetasi Mangrove dan Kedalaman Tanah Berbeda Sebagai Indikator Biologis Untuk Tanah Tambak Di Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat. *Jurnal Riset Akuakultur*, 6(1), 139–156. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jra/article/view/2191>
- Mustafa, A., & Ratnawati, E. (2012). Distribusi Spasial Kebutuhan Kapur Berdasarkan Nilai Spos Tanah untuk Tambak di Kabupaten Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Riset Akuakultur*, 7(2), 293. <https://doi.org/10.15578/jra.7.2.2012.293-36>
- Mustafa, A., & Ratnawati, E. (2013). Karakteristik dan Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Produksi Ikan Bandeng (*Chanos Chanos*) di Tambak Tanah Sulfat Masam Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Riset Akuakultur*, 8(2), 325–338. <https://doi.org/10.15578/JRA.8.2.2013.325-338>
- Mustafa, A., Ratnawati, E., & Undu, M. C. (2020). Characteristics and management of brackishwater pond soil in South Sulawesi Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 564(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/564/1/012021>

- Mustafa, A., & Sammut, J. (2007). Effect of Different Remediation Techniques and Dosages of Phosphorus Fertilizer on Soil Quality and Klekap Production in Acid Sulfate Soil Affected Aquaculture Ponds. *Indonesian Aquaculture Journal*, 2(2), 141–157. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/iaj/article/view/2641>
- Mustafa, A., & Sammut, J. (2010). Dominant Factors Affecting Seaweed (*Gracilaria verrucosa*) Production in Acid Sulfate Soils-Affected Ponds of Luwu Regency, Indonesia. *Indonesian Aquaculture Journal*, 5(2), 147–162. <https://doi.org/10.15578/IAJ.5.2.2010.147-162>
- Mustafa, A., Sammut, J., & Rimmer, M. (2015). Penentuan Kategori Konsentrasi Berbagai Peubah Kimia Kualitas Tanah pada Kedalaman Berbeda di Tambak Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia. *Jurnal Riset Akuakultur*, 10(4), 619–631. <https://doi.org/10.15578/JRA.10.4.2015.619-631>
- Mustafa, A, Sapo, I., & Paena, M. (2016). Studi Penggunaan Produk Kimia dan Biologi pada Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) di Tambak Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Jurnal Riset Akuakultur*, 5(1), 115. <https://doi.org/10.15578/jra.5.1.2010.115-133>
- Patil, R., Dongre, R., & Meshram, J. (2014). Preparation of Silica Powder from Rice Husk. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, 2278–5736. [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)
- Permatasari, D. . (2017). Pengaruh Perbedaan Rasio N Dan P Terhadap Struktur Komunitas Fitoplankton. *Tesis*. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/7093/>
- Rudiyanti, S. (2011). Pertumbuhan *Skeletonema costatum* pada Berbagai Tingkat Salinitas Media. *Jurnal Saintek Perikanan*, 6(2), 69–76.
- Salo, H., Virtanen, S., Laine-Kaulio, H., Koivusalo, H., Jacques, D., & Kokkonen, T. (2023). Evolution of pH, redox potential and solute concentrations in soil and drainage water at a cultivated acid sulfate soil profile. *Geoderma*, 436, 116559. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116559>
- Sammut, J. (1999). Amelioration and management of shrimp ponds in acid sulfate soils: key researchable issues. *Towards Sustainable Shrimp Culture in Thailand and the Region. Proceedings of a Workshop Held at Hat Yai, Songkhla, Thailand, 28 October-1 November 1996.*, 102–106.
- Saxena, A., Marella, T. K., Singh, P. K., & Tiwari, A. (2021). Indoor mass



cultivation of marine diatoms for biodiesel production using induction plasma synthesized nanosilica. *Bioresource Technology*, 332. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.125098>

Saxena, A., Singh, K. P., Bhatnagar, A., & Tiwari, A. (2022). Growth of marine diatoms on aquaculture wastewater supplemented with nanosilica. *Bioresource Technology*, 344, 126210. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.126210>

Schaetzl, R. J., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815560>

Schaetzl, R. J., & Thomson, M. I. (2015). *Soils: Genesis and Geomorphology: Second Edition*. In *Cambridge University Press* (2nd ed.). University of Cambridge. [www.cambridge.org](http://www.cambridge.org)

Senze, M., Kowalska-Góralaska, M., & Czyż, K. (2021). Availability of aluminum in river water supplying dam reservoirs in Lower Silesia considering the hydrochemical conditions. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16. <https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2021.100535>

Spilling, K., Ylöstalo, P., Simis, S., & Seppälä, J. (2015). Interaction Effects of Light, Temperature and Nutrient Limitations (N, P and Si) on Growth, Stoichiometry and Photosynthetic Parameters of the Cold-Water Diatom *Chaetoceros wighamii*. *PLOS ONE*, 10(5), e0126308. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0126308>

Steven, S., Restiawaty, E., & Bindar, Y. (2022). Operating Variables on Production of High Purity Bio-silica from Rice Hull Ash by Extraction Process. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 54(3), 220304–220304. <https://doi.org/10.5614/J.ENG.TECHNOL.SCI.2022.54.3.4>

Sulaeman, Suparto, & Eviati. (2005). *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk* (B. H. Prasetyo, D. Santoso, & L. R. Widowati (eds.)). Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. <http://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/14959>

Sullivan, L. (2004). Preface: Sustainable management of acid sulfate soil. *Australian Journal of Soil Research*, 42(5–6). [https://doi.org/10.1071/SRV42N6\\_PR](https://doi.org/10.1071/SRV42N6_PR)

- Sullivan, Ward, Toppler, & Lancaster. (2018). *National Acid Sulfate Soils Guidance National acid sulfate soils sampling and identification methods manual*.
- Supriyantini, E. (2013). Pengaruh Salinitas terhadap Kandungan Nutrisi *Skeletonema costatum*. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(1), 51–57. <https://doi.org/10.14710/buloma.v2i1.6927>
- Tannock, simon. (2016). *Essential Silica management to grow diatoms for aquaculture*. <https://www.2lua.vn/article/essential-silica-management-to-grow-diatoms-for-aquaculture-5851fea0e49519c47a8b456b.html?hl=en>
- Tarunamulia, Hasnawi, & Athirah, A. (2019). Estimasi Kebutuhan Kapur untuk Tambak Tanah Sulfat Masam (TSM) di Pulau Laut Kabupaten Kota Baru Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Riset Akuakultur*, 14(2), 109–117. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jra/article/view/7822>
- Tarunamulia, Kamariah, & Mustafa, A. (2016). Keterkaitan Spasial Kualitas Lingkungan dan Keberadaan Fitoplankton Berpotensi HABs pada Tambak Ekstensif di Kecamatan Losari Kabupaten Cirebon, Jawa Barat. *Jurnal Riset Akuakultur*, 11(2), 181–195. <https://doi.org/10.15578/JRA.11.2.2016.181-195>
- Tarunamulia, Mustafa, A., Paena, M., Ratnawati, E., Hasnawi, Asaf, R., Athirah, A., & Kamariah. (2020). Laporan Teknis Kegiatan Riset Kajian Pembuatan dan Pemanfaatan Pupuk “ Bio - Silika Plus ” untuk Perbaikan Kualitas Lingkungan Budidaya Tambak. In *Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau dan Penyuluhan Perikanan, Maros*.
- Tarunamulia, & Sammut, J. (2022). An evaluation of the engineering suitability of extensive brackishwater ponds in Barru, South Sulawesi Province, Indonesia. *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/J.AAF.2022.06.004>
- Thamatrakoln, K., & Hildebrand, M. (2008). Silicon Uptake in Diatoms Revisited: A Model for Saturable and Nonsaturable Uptake Kinetics and the Role of Silicon Transporters. *Plant Physiology*, 146(3), 1397–1407. <https://doi.org/10.1104/PP.107.107094>
- US-EPA. (2013). Impacts of Climate Change on the Occurrence of Harmful Algal Blooms. *Environmental Protection Agency, EPA 820-S-*, 3. <http://go.usa.gov/gYTH>

- VanZomerem, C., Berkowitz, J., Piercy, C., & King, J. (2020). Acid sulfate soils in coastal environments: a review of basic concepts and implications for restoration. In *Engineer Research and Development Center*. Environmental Laboratory (U.S.). <https://doi.org/10.21079/11681/38240>
- Vithana, C. L., Ulapane, P. A. K., Chandrajith, R., Sullivan, L. A., Bundschuh, J., Toppler, N., J.Ward, N., & Senaratne, A. (2022). Assessment of the acidification risk of the acid sulfate soil materials in a tropical coastal peat bog: Muthurajawela Marsh, Sri Lanka. *Catena*, 216. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2022.106396>
- Walid, L. A. (2018). Pengaruh Kepadatan Bibit Inokulum yang Berbeda Terhadap Pertumbuhan *Nitzschia* sp. pada Kultur Outdoor [Universitas Mataram]. In *Skripsi* (Vol. 53, Issue 1). <http://www.tfd.org.tw/opencms/english/about/background.html> <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001> <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055> <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006> <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.024>
- Walter, W. G. (2011). Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. In <https://doi.org/10.2105/AJPH.51.6.940-a> (11th ed., Vol. 51, Issue 6). American Public Health Association. <https://doi.org/10.2105/AJPH.51.6.940-A>
- Widasari, F. N., Wulandari, S. Y., & Supriyantini, E. (2013). Pengaruh Pemberian *Tetraselmis chuii* Dan *Skeletonema Costatum* Terhadap Kandungan Epa Dan Dha Pada Tingkat Kematangan Gonad Kerang Totok *Polymesoda erosa*. *Journal of Marine Research*, 2(1), 15–24. <https://doi.org/10.14710/JMR.V2I1.2050>
- Wurts, W. A., & Masser, M. P. (2013). Liming ponds for aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center*, No.4100, 6.
- Xu, Y., Li, A. J., Qin, J., Li, Q., Ho, J. G., & Li, H. (2017). Seasonal patterns of water quality and phytoplankton dynamics in surface waters in Guangzhou and Foshan, China. *Science of The Total Environment*, 590–591, 361–369. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.02.032>
- Yusoff, F. M., Zubaidah, M. S., Matias, H. B., & Kwan, T. S. (2002). Phytoplankton succession in intensive marine shrimp culture ponds treated with a commercial bacterial product. *Aquaculture Research*, 33(4), 269–278. <https://doi.org/10.1046/J.1355-557X.2002.00671.X>

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil analisis ragam multivariat pengaruh remediasi tanah dan penambahan biosilika terhadap kualitas air dengan SPSS

### Tests of Between-Subjects Effects

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Suhu	3.676 <sup>a</sup>	3	1.225	2.889	0.102
	DO	.078 <sup>b</sup>	3	0.026	1.927	0.204
	Salinitas	.159 <sup>c</sup>	3	0.053	1.865	0.214
	pH	.011 <sup>d</sup>	3	0.004	0.716	0.570
	Amonia	.041 <sup>e</sup>	3	0.014	8.030	0.009
	Fosfat	6.869E-5 <sup>f</sup>	3	2.290E-05	2.137	0.174
	Nitrit	.001 <sup>g</sup>	3	0.000	13.901	0.002
	Nitrat	.026 <sup>h</sup>	3	0.009	4.454	0.040
	Bahan_organik	300.153 <sup>i</sup>	3	100.051	3.101	0.089
	Silika	205.566 <sup>j</sup>	3	68.522	2590.865	0.000
Intercept	Suhu	9301.901	1	9301.901	21929.825	0.000
	DO	107.353	1	107.353	7911.246	0.000
	Salinitas	13327.334	1	13327.334	468036.313	0.000
	pH	770.562	1	770.562	156195.027	0.000
	Amonia	4.083	1	4.083	2415.232	0.000
	Fosfat	0.001	1	0.001	77.158	0.000
	Nitrit	0.001	1	0.001	105.002	0.000
	Nitrat	0.140	1	0.140	72.474	0.000
	Bahan_organik	324058.760	1	324058.760	10042.936	0.000
	Silika	178.174	1	178.174	6736.853	0.000
Remediasi_A	Suhu	0.241	1	0.241	0.568	0.473
	DO	0.041	1	0.041	3.044	0.119
	Salinitas	0.055	1	0.055	1.920	0.203
	pH	0.000	1	0.000	0.027	0.873
	Amonia	0.003	1	0.003	1.669	0.232
	Fosfat	6.721E-05	1	6.721E-05	6.273	0.037
	Nitrit	0.000	1	0.000	24.851	0.001
	Nitrat	0.013	1	0.013	6.709	0.032
	Bahan_organik	198.453	1	198.453	6.150	0.038
	Silika	23.702	1	23.702	896.180	0.000
Biosilika_B	Suhu	1.267	1	1.267	2.988	0.122
	DO	0.002	1	0.002	0.127	0.730
	Salinitas	0.044	1	0.044	1.560	0.247
	pH	0.001	1	0.001	0.169	0.692

	Amonia	0.011	1	0.011	6.473	0.034
	Fosfat	3.333E-09	1	3.333E-09	0.000	0.986
	Nitrit	0.000	1	0.000	11.667	0.009
	Nitrat	0.008	1	0.008	4.053	0.079
	Bahan_organik	99.763	1	99.763	3.092	0.117
	Silika	150.614	1	150.614	5694.823	0.000
Remediasi_A	Suhu	2.168	1	2.168	5.110	0.054
*	DO	0.035	1	0.035	2.611	0.145
Biosilika_B	Salinitas	0.060	1	0.060	2.114	0.184
	pH	0.010	1	0.010	1.953	0.200
	Amonia	0.027	1	0.027	15.947	0.004
	Fosfat	1.470E-06	1	1.470E-06	0.137	0.721
	Nitrit	7.301E-05	1	7.301E-05	5.185	0.052
	Nitrat	0.005	1	0.005	2.600	0.146
	Bahan_organik	1.936	1	1.936	0.060	0.813
	Silika	31.250	1	31.250	1181.592	0.000
Error	Suhu	3.393	8	0.424		
	DO	0.109	8	0.014		
	Salinitas	0.228	8	0.028		
	pH	0.039	8	0.005		
	Amonia	0.014	8	0.002		
	Fosfat	8.571E-05	8	1.071E-05		
	Nitrit	0.000	8	1.408E-05		
	Nitrat	0.015	8	0.002		
	Bahan_organik	258.139	8	32.267		
	Silika	0.212	8	0.026		
Total	Suhu	9308.970	12			
	DO	107.540	12			
	Salinitas	13327.721	12			
	pH	770.612	12			
	Amonia	4.138	12			
	Fosfat	0.001	12			
	Nitrit	0.002	12			
	Nitrat	0.181	12			
	Bahan_organik	324617.051	12			
	Silika	383.951	12			
Corrected	Suhu	7.069	11			
Total	DO	0.187	11			
	Salinitas	0.387	11			
	pH	0.050	11			
	Amonia	0.054	11			

Fosfat	0.000	11		
Nitrit	0.001	11		
Nitrat	0.041	11		
Bahan_organik	558.291	11		
Silika	205.778	11		

- a. R Squared = .520 (Adjusted R Squared = .340)
- b. R Squared = .420 (Adjusted R Squared = .202)
- c. R Squared = .412 (Adjusted R Squared = .191)
- d. R Squared = .212 (Adjusted R Squared = -.084)
- e. R Squared = .751 (Adjusted R Squared = .657)
- f. R Squared = .445 (Adjusted R Squared = .237)
- g. R Squared = .839 (Adjusted R Squared = .779)
- h. R Squared = .626 (Adjusted R Squared = .485)
- i. R Squared = .538 (Adjusted R Squared = .364)
- j. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

Lampiran 2. Hasil perhitungan rasio N:Si (1:1) dengan aplikasi *silica to nitrogen calculator*

The screenshot shows the AlgaEnviro website interface. At the top, there is a navigation bar with links for Home, Our Product, Garden Ponds, FAQs, Blog, Contact Us, and a Buy Now button. The main content area contains a calculator with the following text and values:

- Question: "What is the Nitrate (NO<sub>3</sub>) concentration in mg/L of the water in your pond?"
- Input: 15.4557
- Question: "What is the Silicate (SiO<sub>2</sub>) concentration in mg/L of the water in your pond?"
- Input: 15.08
- Result: "We calculate that the concentration of nitrogen (as mg/L of N) in your water is: 3.50"
- Result: "We calculate that the concentration of Silica (as mg/L of Si) in your water is: 7.05"
- Result: "We calculate that the ratio of Silica to Nitrogen (Si:N) in your water is: 1.00"
- Footnote: "If this value is less than one, you should add more Silicate (SiO<sub>2</sub>) into your water to optimise diatom growth."

At the bottom of the page, there is a footer with a cookie notice and an "Activate Windows" watermark.

Lampiran 3. Hasil perhitungan rasio N:P dengan aplikasi *Redfield Ratio Calculator*

**Nitrogen (N) to Phosphorus (P) Ratio Calculations  
(Redfield & Buddy Ratio)**

Nitrate (NO<sub>3</sub>) = 0.197

Phosphate (PO<sub>4</sub>) = 0.004 Calculate

Nitrogen (N) content = 0.0031774 Refresh

Phosphorus (P) content = 4.2105e-05 Exit

<b>N/P (Redfield Ratio: RR)</b> 75	<b>Expected P (mg/L)</b> 0.5
<b>N/P (Buddy Ratio: BR)</b> 49	<b>Required P (mg/L - P)</b> 0.49869
<b>Optimal RR - 16 (10-20)</b>	<b>Required N (mg/L - N)</b> 3.4877
<b>Optimal BR - 10 (7-13)</b>	<b>P-Rate (kg/ha/week)</b> 3
	<b>N-Rate (kg/ha/week)</b> 21
	<b>Check: RR=7 (RR=Weight)</b> 7

High Chance of Green Algae