

**TUGAS AKHIR - RE184804**

# **KAJIAN FIKOREMEDIASI UNTUK REMEDIASI AIR SUNGAI**

**ABEL ARELIAN ABSOR**  
NRP. 0321184000054

Dosen Pembimbing  
**Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 19711114 200312 2 001

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**TUGAS AKHIR - RE184804**

## **KAJIAN FIKOREMEDIASI UNTUK REMEDIASI AIR SUNGAI**

**ABEL ARELIAN ABSOR**  
NRP. 0321184000054

Dosen Pembimbing  
**Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 19711114 200312 2 001

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**  
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**FINAL PROJECT - RE184804**

# **STUDY OF PHYCOREMEDIATION FOR RIVER WATER REMEDICATION**

**ABEL ARELIAN ABSOR**  
NRP. 0321184000054

Advisor  
**Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 19711114 200312 2 001

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**  
Faculty of Civil, Planning, and Geoenvironmental Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022



## LEMBAR PENGESAHAN

### KAJIAN FIKOREMEDIASI UNTUK REMEDIASI AIR SUNGAI

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **ABEL ARELIAN ABSOR**

NRP. 03211840000054

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

Pembimbing

2. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.Sc.Es

Penguji

3. Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji

4. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

Penguji



**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**



## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Abel Arelian Absor / 03211840000054

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing/NIP : Ipung Fitri Purwanti, ST, MT, Ph.D / 19711114 200312 2 001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Kajian Fikoremediasi untuk Remediasi Air Sungai” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing,



(Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D.)

NIP. 19711114 200312 2 001

Mahasiswa,



(Abel Arelian Absor)

NRP. 03211840000054

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## KAJIAN FIKOREMEDIASI UNTUK REMEDIASI AIR SUNGAI

Nama Mahasiswa : Abel Arelian Absor  
NRP : 03211840000054  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

### ABSTRAK

Air merupakan salah satu kebutuhan utama untuk kelangsungan hidup di bumi. Sebagian besar air yang terdapat di daratan berada dalam sungai. Sungai adalah saluran yang terbentuk secara alami yang berfungsi untuk menampung dan mengalirkan air dari sumber mata air ke laut. Kegiatan manusia di sekitar sungai dapat mempengaruhi kualitas air sungai. Pemerintah telah melakukan beberapa upaya untuk meremediasi air sungai, namun terdapat beberapa faktor yang menghambat upaya pemerintah tersebut. Terdapat alternatif lain yang dapat digunakan untuk meremediasi air sungai, yaitu metode fikoremediasi. Fikoremediasi adalah penggunaan alga untuk menghilangkan atau mengubah polutan, nutrisi, dan racun lainnya dari air. Oleh karena itu, diperlukan studi literatur untuk mengkaji pengaruh fikoremediasi, serta aplikasinya pada air sungai.

Metode studi yang digunakan dalam penyusunan kajian ini adalah kajian pustaka dengan *systematic review* dari berbagai literatur yang terkait dengan fikoremediasi air sungai. Kajian pustaka digunakan untuk menganalisis kasus pencemaran air sungai secara literatur dengan menerapkan fikoremediasi sebagai penanganannya. Literatur yang digunakan sebagai sumber data sekunder berasal dari hasil penelitian diutamakan dalam 10 tahun terakhir. Studi kasus dilakukan berdasarkan data dari sumber referensi seperti buku teks, laporan penelitian, buletin, jurnal nasional maupun internasional, dan *website*. Analisis data hasil dari kajian pustaka akan dilakukan hingga menghasilkan kesimpulan yang menjawab tujuan. Studi kasus diambil dari Sungai Kalimas Surabaya

Sungai Kalimas termasuk dalam sungai kelas II dan memiliki 6 jenis parameter kualitas air yang melebihi baku mutu sesuai aturan yang berlaku. Spesies alga yang cocok untuk melakukan fikoremediasi pada air Sungai Kalimas adalah *Chlorella vulgaris* dikarenakan alga ini dapat menurunkan 6 jenis parameter tersebut sekaligus, dan Sungai Kalimas memiliki suhu rata-rata yang optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan *C. vulgaris*. Teknik fikoremediasi yang digunakan untuk Sungai Kalimas adalah *microbial dosing*. *Microbial dosing* adalah penggunaan mikroba dalam dosis tertentu untuk meremediasi suatu badan air. Dosis *C. vulgaris* yang digunakan untuk melakukan fikoremediasi pada air Sungai Kalimas adalah 71,24 m<sup>3</sup>.

**Kata Kunci:** Air Sungai, Alga, *Chlorella vulgaris*, Fikoremediasi, *Microbial dosing*.

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## **STUDY OF PHYCOREMEDIATION FOR RIVER WATER REMEDIATION**

Student's Name : Abel Arelian Absor  
NRP : 03211840000054  
Department : Environmental Engineering  
Advisor : Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

### **ABSTRACT**

Water is one of the most basic requirements for survival on Earth. Most of the water on land is in rivers. A river is a naturally formed channel that serves to accommodate and drain water from a source to the sea. Human activities around the river can affect the quality of river water. The government has made several efforts to remediate river water, but there are several factors that hinder the government's efforts. There is another alternative that can be used to remediate river water, namely the phycoremediation method. Phycoremediation is the use of algae to remove or convert pollutants, nutrients, and other toxins from water. Therefore, a literature study is needed to examine the effect of phycoremediation, as well as its application to river water.

The study method used in the preparation of this study is a literature review with a systematic review of various literature related to river water phycoremediation. A literature review is used to analyze cases of river water pollution in the literature by applying phycoremediation as a treatment. The literature used as a source of secondary data comes from research results, preferably in the last 10 years. Case studies are conducted based on data from reference sources such as textbooks, research reports, bulletins, national and international journals, and websites. Analysis of the data from the literature review will be carried out to produce conclusions that answer the objectives. The case study is taken from the Kalimas River in Surabaya.

The Kalimas River is included in class II rivers and has 6 types of water quality parameters that exceed the quality standards according to applicable regulations. The species of algae that is suitable for phycoremediation in Kalimas River water is *Chlorella vulgaris* because this algae can reduce 6 types of parameters at once, and the Kalimas River has an optimum average temperature for the growth and development of *C. vulgaris*. The phycoremediation technique used for the Kalimas River is microbial dosing. Microbial dosing is the use of microbes in certain doses to remediate a body of water. The dose of *C. vulgaris* used to perform phycoremediation in Kalimas River was 71,24 m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Algae, *Chlorella vulgaris*, Microbial dosing, Phycoremediation, River Water.

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Kajian Fikoremediasi untuk Remediasi Air Sungai”. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan dalam proses penulisan tugas akhir ini terutama kepada:

1. Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran dan membimbing penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo., M.Sc.Es. selaku dosen pengarah dan penguji yang telah memberikan saran kepada penulis.
3. Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pengarah dan penguji yang telah memberikan saran kepada penulis.
4. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran kepada penulis.
5. Kedua orang tua serta adik yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS angkatan 2018 yang telah berjuang bersama-sama dan memberikan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Semua pihak yang telah membantu kelancaran penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini telah dilakukan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca, serta masyarakat luas.

Surabaya, 25 Juli 2022  
Penulis

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**



## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	ivii
DAFTAR TABEL .....	iix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I: PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan .....	1
1.4 Manfaat .....	1
1.5 Ruang Lingkup .....	2
BAB II: TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Sungai .....	3
2.2 Jenis Sungai .....	3
2.3 Kualitas Air Sungai.....	4
2.4 Pencemaran Air Sungai .....	6
2.4.1 Sumber Pencemaran Air Sungai .....	6
2.4.2 Jenis Pencemaran Air Sungai.....	7
2.5 Pengelolaan Sungai.....	8
2.6 Fikoremediasi.....	8
2.7 Mekanisme Fikoremediasi .....	10
2.7.1 Biosorpsi.....	10
2.7.2 Biotransformasi .....	11
2.7.3 Biodegradasi.....	11
2.7.4 Bioakumulasi.....	11
2.7.5 Fikovolatilisasi .....	11
2.8 Spesies Alga Sebagai Fikoremediator .....	12
2.9 Teknik Fikoremediasi .....	20
2.9.1 <i>Algal Turf Scrubber</i> .....	20
2.9.2 <i>Algal Biofilms</i> .....	21
2.9.3 <i>High Rate Algal Ponds (HRAPs)</i> .....	22
2.9.4 <i>Microbial Dosing</i> .....	23
2.10 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Alga dan <i>Removal</i> Nutrisi.....	23
BAB III: METODE PENULISAN .....	25
3.1 Tahapan Penulisan .....	25
3.1.1 Kajian Pustaka.....	25
3.1.2 Studi Kasus.....	25

3.2 Kerangka Studi .....	25
3.2.1 Ide Studi .....	26
3.2.2 Pengumpulan Data .....	26
3.2.3 Studi Kasus .....	27
3.2.4 Analisis dan Penulisan Kajian Pustaka .....	27
3.2.5 Kesimpulan dan Saran .....	27
<b>BAB IV: PEMBAHASAN.....</b>	<b>29</b>
4.1 Sungai Kalimas.....	29
4.1.1 Gambaran Umum.....	29
4.1.2 Kualitas Air Sungai Kalimas .....	31
4.1.3 Parameter yang Tidak Memenuhi Baku Mutu.....	33
4.2 Pemilihan Spesies Alga untuk Fikoremediasi .....	36
4.3 Aplikasi Fikoremediasi pada Sungai Kalimas.....	37
<b>BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>47</b>
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
Daftar Pustaka .....	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Tiap Kelas .....	5
Tabel 4.1 Karakteristik Air Sungai Kalimas .....	31
Tabel 4.2 Kondisi Parameter Air Sungai Kalimas .....	33
Tabel 4.3 Kemampuan Alga <i>C. vulgaris</i> untuk Menurunkan Konsentrasi Polutan .....	37
Tabel 4.4 Perhitungan Beban Polutan Sungai Kalimas .....	38
Tabel 4.5 Perhitungan Kebutuhan Volume Inokulum Alga <i>C. vulgaris</i> .....	39

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis Arah Aliran Sungai .....	3
Gambar 2.2 Alur Sungai .....	4
Gambar 2.3 Mekanisme Fikoremediasi .....	10
Gambar 2.4 <i>Monoraphidium braunii</i> .....	12
Gambar 2.5 <i>Chlorococcum humicola</i> .....	13
Gambar 2.6 <i>Scenedesmus acutus</i> .....	13
Gambar 2.7 <i>Chlorella sorokiniana</i> .....	14
Gambar 2.8 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .....	14
Gambar 2.9 <i>Scenedesmus rubescens</i> .....	15
Gambar 2.10 <i>Botryococcus braunii</i> .....	15
Gambar 2.11 <i>Scenedesmus obliquus</i> .....	16
Gambar 2.12 <i>Chlorella vulgaris</i> .....	16
Gambar 2.13 <i>Chlorella variabilis</i> .....	17
Gambar 2.14 <i>Spirogyra neglecta</i> .....	17
Gambar 2.15 <i>Scenedesmus abundans</i> .....	18
Gambar 2.16 <i>Chlorella minutissima</i> .....	19
Gambar 2.17 <i>Scenedesmus quadricauda</i> .....	19
Gambar 2.18 <i>Stigeoclonium sp.</i> .....	20
Gambar 2.19 <i>Algal Turf Scrubber</i> .....	21
Gambar 2.20 <i>Algal Biofilms</i> .....	22
Gambar 2.21 <i>High Rate Algal Ponds (HRAPs)</i> .....	23
Gambar 3.1 Kerangka Studi .....	25
Gambar 4.1 Sungai Kalimas .....	29
Gambar 4.2 Peta Sungai Kalimas .....	30
Gambar 4.3 Peta Lokasi Titik Sampling .....	32
Gambar 4.4 <i>Chlorella vulgaris</i> .....	37
Gambar 4.5 Peta Injeksi Alga pada Sungai Kalimas .....	41
Gambar 4.6 <i>Oil Barrier</i> (a) .....	44
Gambar 4.7 <i>Oil Barrier</i> (b) .....	44
Gambar 4.8 Peta Peletakan <i>Barrier</i> pada Sungai Kalimas .....	45
Gambar 4.9 Aplikasi Fikoremediasi pada Sungai .....	46

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Air adalah salah satu kebutuhan utama untuk kelangsungan kehidupan di bumi. Adapun kegunaan air seperti keperluan hidup sehari-hari, kegiatan industri, maupun keperluan pertanian dan sebagainya (Ardhani, 2014). Sebagian besar air yang terdapat di daratan berada dalam sungai. Sungai adalah saluran yang terbentuk secara alami di atas permukaan bumi, yang berfungsi untuk menampung dan mengalirkan air dari bagian hulu ke bagian hilir (Junaidi, 2014). Kegiatan manusia di sekitar badan air sungai, seperti: pemukiman, industri, dan pertanian dapat mengakibatkan berbagai jenis bahan pencemar. Bahan pencemar tersebut dapat masuk ke aliran sungai dan mempengaruhi kualitas air sungai. (Tanjung *et al.*, 2016). Jika bahan pencemar tersebut dibiarkan, maka akan terjadi kerusakan ekosistem di sekitar sungai tersebut. Salah satu contoh sungai yang tercemar adalah Sungai Asahan, yang menyebabkan warga di sekitar sungai tersebut terserang penyakit gatal-gatal (Ramadhan, 2022).

Menurut Putri (2011), pemerintah telah melakukan berbagai upaya untuk meningkatkan kualitas air sungai, seperti: pengembangan IPAL, pelatihan pengelolaan lingkungan untuk masyarakat, dan pengembangan tempat pengolahan sampah terpadu, namun hasilnya tidak maksimal. Terdapat beberapa faktor yang menghambat upaya pemerintah tersebut, seperti: koordinasi yang tidak berjalan lancar, kurangnya sumber daya manusia yang ahli, dan keterbatasan dana. Terdapat alternatif lain yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas air sungai, yaitu dengan menggunakan metode fikoremediasi. Fikoremediasi adalah penggunaan alga (mikroalga atau makroalga) untuk menghilangkan atau mengubah polutan, nutrisi, dan racun lainnya dari air (Koul *et al.*, 2022). Keunggulan alternatif ini adalah lebih efisien dikarenakan dapat mengurangi konsentrasi polutan dan patogen, membantu pemulihan nutrisi dalam media dengan biomasnya yang berharga, mengurangi emisi gas rumah kaca, hemat energi dan biaya, serta dapat berfungsi sebagai sumber makanan biota air (John *et al.*, 2020). Perlu dilakukan studi literatur untuk mengkaji pengaruh fikoremediasi dan serta aplikasinya pada air sungai.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari studi literatur ini adalah:

1. Bagaimana tingkat pencemaran air sungai?
2. Bagaimana pengaruh fikoremediasi pada air sungai?
3. Bagaimana aplikasi fikoremediasi pada air sungai?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dari studi literatur ini adalah:

1. Mengkaji tingkat pencemaran kualitas air sungai.
2. Mengkaji pengaruh fikoremediasi pada air sungai.
3. Mengkaji dan menjadi referensi dalam melakukan fikoremediasi air sungai.

### **1.4 Manfaat**

Hasil dari studi literatur ini diharapkan memberi manfaat berupa:

1. Memberikan informasi tentang pencemaran air sungai.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh fikoremediasi pada air sungai.
3. Memberikan informasi tentang aplikasi fikoremediasi pada air sungai.

## **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dari studi literatur ini adalah:

1. Melakukan remediasi dengan menggunakan teknik fikoremediasi.
2. Aplikasi fikoremediasi dan pada sungai.
3. Studi kasus diambil dari Sungai Kalimas Surabaya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

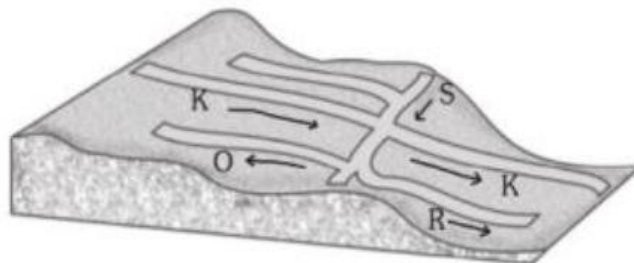
### 2.1 Sungai

Sungai merupakan saluran terbuka yang terbentuk secara alamiah di atas permukaan bumi, tidak hanya menampung air tetapi juga mengalirkannya dari bagian hulu ke bagian hilir (Junaidi, 2014). Setiap sungai memiliki karakteristik dan bentuk yang berbeda antara satu dengan yang lainnya, hal ini disebabkan oleh banyak faktor diantaranya topografi, iklim, maupun segala gejala alam dan proses pembentukannya (Putra, 2014). Proses terbentuknya sungai berasal dari mata air yang mengalir di atas permukaan bumi. Proses selanjutnya aliran air akan bertambah seiring dengan terjadinya hujan, karena limpasan air hujan yang tidak dapat diserap oleh tanah akan ikut mengalir ke dalam sungai. Perjalanan dari hulu menuju hilir, aliran sungai secara berangsur-angsur menyatu dengan banyak sungai lainnya, penggabungan ini membuat tubuh sungai menjadi semakin besar (Junaidi, 2014). Menurut PP Nomor 38 Tahun 2011, suatu wilayah yang merupakan satu kesatuan dengan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan disebut sebagai daerah aliran sungai (DAS).

### 2.2 Jenis Sungai

Menurut Khoirudin (2019), jenis sungai dapat dibedakan berdasarkan berikut.

1. Berdasarkan sumber air.
  - a. Sungai yang bersumber dari mata air dan air hujan.
  - b. Sungai yang bersumber dari gletser yang mencair.
  - c. Sungai campuran yang bersumber dari mata air, air hujan, dan gletser yang mencair.
2. Berdasarkan arah aliran air (Gambar 2.1).
  - a. Sungai *consequent*, sungai yang arah alirannya mengikuti arah kemiringan lereng.
  - b. Sungai *subsequent*, sungai yang arah alirannya tegak lurus dengan sungai *consequent*.
  - c. Sungai *obsequent*, sungai yang arah alirannya berlawanan dengan sungai *consequent* contohnya sungai bawah tanah.
  - d. Sungai *resquent*, sungai yang arah alirannya sama dan sejajar dengan sungai *consequent*, serta tidak dikontrol oleh kemiringan lereng contohnya sungai di daratan rendah yang berupa cekungan.



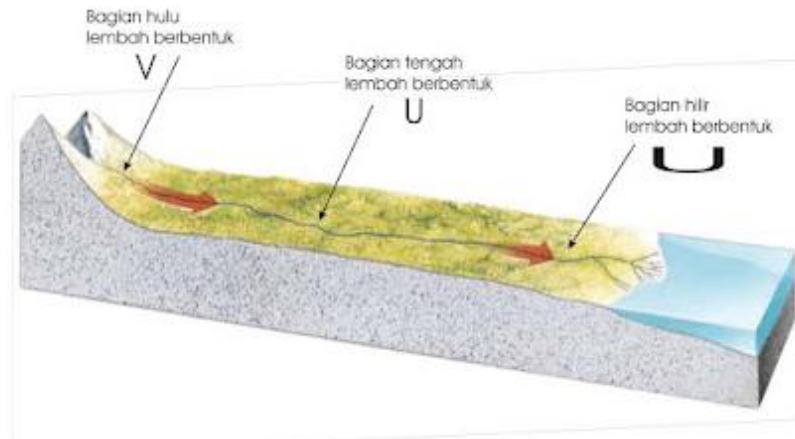
R = Sungai *Resquent*  
O = Sungai *Obsequent*

K = Sungai *Consequent*  
S = Sungai *Subsequent*

Gambar 2.1 Jenis Arah Aliran Sungai

Sumber: Khoirudin, 2019

3. Alur sungai dibagi menjadi tiga, yaitu: (Gambar 2.2).
  - a. Bagian hulu, memiliki ciri arus yang deras, serta erosi yang besar pada bagian bawah sungai.
  - b. Bagian tengah, memiliki kemiringan dasar sungai yang relatif lebih landai sehingga erosinya tidak besar, serta mulai terjadi pengendapan.
  - c. Bagian hilir, memiliki kemiringan dasar sungai yang landai sehingga arusnya lambat dan erosinya kecil, serta terdapat banyak endapan.



Gambar 2.2 Alur Sungai

Sumber: <https://www.amuzigi.com/2018/04/pola-aliran-dendritik-dan-karakteristiknya.html>.

### 2.3 Kualitas Air Sungai

Kualitas air adalah standar mutu air untuk tujuan tertentu tergantung tujuan penggunaannya, contohnya adalah air yang digunakan untuk konsumsi memiliki standar mutu yang berbeda dengan air yang digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air (Rahayu & Tontowi, 2009). Kualitas air sungai dipengaruhi oleh kualitas pasokan air yang berasal dari daerah tangkapan yang berkaitan dengan aktivitas manusia. Kualitas air sungai dapat diamati dengan mengamati status mutu air. Status mutu air menunjukkan tingkat kondisi mutu air dalam kondisi tercemar atau dalam kondisi baik dengan cara membandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan (Agustiningsih *et al.*, 2012). Sungai dapat dikatakan tercemar apabila tidak dapat digunakan sesuai dengan peruntukannya secara normal/keluar dari ambang batas yang telah ditentukan (Mahyudin *et al.*, 2015).

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, kualitas air diklasifikasikan menjadi empat kelas (Tabel 2.1), yaitu:

1. Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
2. Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
3. Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
4. Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Tiap Kelas

Parameter	Kelas				Satuan
	I	II	III	IV	
Fisika					
Suhu	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	°C
Padatan terlarut (TDS)	1000	1000	1000	2000	mg/L
Padatan tersuspensi (TSS)	40	50	100	400	mg/L
Warna	15	50	100	-	Pt-Co Unit
Kimia anorganik					
pH	6-9	6-9	6-9	5-9	mg/L
BOD	2	3	6	12	mg/L
COD	10	25	40	80	mg/L
DO	6	4	3	1	mg/L
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	300	300	300	400	mg/L
Klorida (Cl <sup>-</sup> )	300	300	300	600	mg/L
Nitrat (sebagai N)	10	10	20	20	mg/L
Nitrit (sebagai N)	0,06	0,06	0,06	-	mg/L
Amoniak (sebagai N)	0,1	0,2	0,5	-	mg/L
Total nitrogen	15	15	25	-	mg/L
Total fosfat (sebagai P)	0,2	0,2	1	5	mg/L
Fluorida (F <sup>-</sup> )	1	1,5	1,5	-	mg/L
Belerang (sebagai H <sub>2</sub> S)	0,002	0,002	0,002	-	mg/L
Sianida (CN <sup>-</sup> )	0,02	0,02	0,02	-	mg/L
Klorin bebas	0,03	0,03	0,03	-	mg/L
Barium (Ba) terlarut	1	-	-	-	mg/L
Boron (B) terlarut	1	1	1	1	mg/L
Merkuri (Hg) terlarut	0,001	0,002	0,002	0,005	mg/L
Arsen (As) terlarut	0,05	0,05	0,05	0,1	mg/L
Selenium (Se) terlarut	0,01	0,05	0,05	0,05	mg/L
Besi (Fe) terlarut	0,3	-	-	-	mg/L
Kadmium (Cd) terlarut	0,01	0,01	0,01	0,01	mg/L
Kobalt (Co) terlarut	0,2	0,2	0,2	0,2	mg/L
Mangan (Mn) terlarut	0,1	-	-	-	mg/L
Nikel (Ni) terlarut	0,05	0,05	0,05	0,1	mg/L
Seng (Zn) terlarut	0,05	0,05	0,05	2	mg/L
Tembaga (Cu) terlarut	0,02	0,02	0,02	0,2	mg/L
Timbal (Pb) terlarut	0,03	0,03	0,03	0,5	mg/L
Khromium heksavalen (Cr-(VI))	0,05	0,05	0,05	0,01	mg/L
Kimia organik					
Minyak dan lemak	1	1	1	10	mg/L
Detergen total	0,2	0,2	0,2	-	mg/L
Fenol	0,002	0,005	0,01	0,02	mg/L
Aldrin/Dieldrin	17	-	-	-	µg/L
BHC	210	210	210	-	µg/L
Aldrin/dieldrin	17	-	-	-	µg/L
Chlordane	3	-	-	-	µg/L
DDT	2	2	2	2	µg/L

Parameter	Kelas				Satuan
	I	II	III	IV	
Endrin	1	4	4	-	µg/L
Heptachlor	18	-	-	-	µg/L
Lindane	56	-	-	-	µg/L
Methoxyctor	35	-	-	-	µg/L
Toxaphan	5	-	-	-	µg/L
Mikrobiologi					
Fecal coliform	100	1000	2000	2000	MPN/100 ml
Total coliform	1000	5000	10000	10000	MPN/100 ml
Radioaktif					
Gross – A	0,1	0,1	0,1	0,1	Bq/L
Gross – B	1	1	1	1	Bq/L

Sumber: Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021

## 2.4 Pencemaran Air Sungai

Sungai merupakan perairan terbuka yang mendapat masukan limbah dari berbagai kegiatan manusia di sekitarnya, seperti pertanian, pemukiman, dan industri. Masukan limbah ke sungai dapat menyebabkan perubahan faktor fisika, kimia, dan biologi di dalam perairan (Kusuma, 2014).

### 2.4.1 Sumber Pencemaran Air Sungai

Menurut Kurnianto (2019), sumber pencemaran sungai adalah sebagai berikut.

#### 1. Limbah industri

Limbah industri adalah bahan buangan sebagai hasil sampingan dari proses produksi yang berbentuk padat, cair, dan gas. Diperkirakan 250 ribu ton limbah industri dibuang dalam badan air pada tahun 1990 dan pada tahun 2010 diperkirakan jumlah limbah industri yang dibuang ke badan air meningkat menjadi 1,2 juta ton. Pada umumnya limbah industri mengandung air, pelarut organik, minyak, padatan terlarut, senyawa kimia terlarut, serta kandungan kimia limbah yang dapat berupa bahan organik maupun bahan anorganik (Kurnianto, 2019).

#### 2. Limbah domestik

Limbah domestik adalah bahan buangan dari rumah tangga, kantor, restoran, tempat hiburan, pasar, dan lain sebagainya. Limbah domestik dapat berupa sampah organik maupun sampah anorganik, serta larutan kompleks yang terdiri dari air dan padatan. Sampah organik adalah hasil buangan yang dapat diuraikan oleh bakteri atau mikroba, contohnya: daun-daunan dan buah-buahan. Sampah anorganik adalah hasil buangan yang sulit terurai oleh bakteri atau mikroba, contohnya: plastik, logam, dan kaca (PermenLHK Nomor 68 Tahun 2016). Menurut Kurnianto (2019), kandungan limbah domestik dapat berupa:

- a. Nitrogen dan fosfat, berasal dari aktivitas manusia dan deterjen.
- b. Klorida dan sulfat, berasal dari aktivitas manusia.
- c. Karbonat dan bikarbonat, biasanya terdapat dalam bentuk garam dan magnesium.
- d. Zat toksik seperti sianida dan logam berat (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, dll).

#### 3. Limbah lainnya

Limbah lainnya adalah limbah selain limbah industri dan domestik, contohnya adalah limbah pertanian dan timbulan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah. Limbah hasil pertanian yang utama adalah pupuk kimia dan pestisida yang

digunakan petani untuk merawat tanaman. Pupuk kimia mengandung fosfat yang dapat merangsang pertumbuhan gulma air seperti ganggang dan eceng gondok sehingga dapat menyebabkan eutrofikasi. Pestisida digunakan untuk membunuh hama, namun pestisida memiliki jangka waktu aktif yang lama sehingga jika terbawa pada aliran air dapat membunuh hewan yang bukan sasaran, seperti ikan, dan biota air lainnya. Timbulan sampah pada TPA dapat menghasilkan air lindi yang dapat masuk ke dalam tanah dan atau ikut terbawa aliran sungai (Kurnianto, 2019).

#### 2.4.2 Jenis Pencemaran Air Sungai

Menurut Setiawan (2015), pencemaran air dapat disebabkan oleh berbagai jenis polutan dan dapat dikategorikan sebagai berikut.

1. *Infection agent* (agen infeksius)  
*Infection agent* merupakan bahan pencemar yang dapat menyebabkan gangguan pada kesehatan. Bahan pencemar ini berupa mikroorganisme patogen yang berasal dari kotoran manusia dan hewan yang tidak dikelola dengan baik.
2. Zat pengikat oksigen  
*Dissolved oxygen* atau jumlah oksigen terlarut merupakan indikator untuk menentukan kualitas air. Oksigen yang terlarut dalam air berasal dari difusi oksigen dan proses fotosintesis fitoplankton. Apabila dalam suatu perairan terdapat banyak limbah organik, maka jumlah mikroorganisme dalam perairan tersebut akan meningkat, hal ini mengakibatkan turunnya jumlah oksigen terlarut.
3. Sedimen  
Sedimen terdiri atas tanah dan pasir yang masuk ke dalam air dari erosi atau banjir dan dapat menyebabkan pendangkalan air sungai, serta meningkatkan kekeruhan air sungai yang berakibat terhalangnya cahaya matahari sehingga mengganggu proses fotosintesis fitoplankton dan menimbulkan berkurangnya pasokan oksigen dalam air.
4. Nutrisi atau unsur hara (nitrat dan fosfat)  
Nutrisi atau unsur hara yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan produktivitas primer karena adanya penyaringan air dengan unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Keadaan ini dapat meningkatkan populasi ganggang dan bakteri dalam perairan tersebut sehingga air menjadi keruh dan bau.
5. Pencemar anorganik  
Beberapa contoh bahan pencemar anorganik adalah logam, garam, asam, dan basa. Asam dan basa dapat menyebabkan perubahan pH dalam air dan mengganggu kehidupan dalam air.
6. Zat kimia organik  
Zat kimia organik digunakan dalam industri kimia, seperti pembuatan pestisida, plastik, farmasi dan lain sebagainya. Banyak zat kimia yang memiliki toksisitas yang tinggi, sehingga kontaminasi zat kimia organik dalam air dapat mengancam kesehatan makhluk hidup didalamnya.
7. Energi panas  
Kualitas air akan turun jika terjadi perubahan suhu. Air panas pada permukaan air dapat menghambat masuknya oksigen ke dalam air bagian bawah.
8. Zat radioaktif  
Zat radioaktif dapat menyebabkan gangguan pada proses pembelahan sel, serta rusaknya kromosom.

## 2.5 Pengelolaan Sungai

Menurut Putri (2011), beberapa upaya telah dilakukan oleh pemerintah untuk mengendalikan pencemaran sungai, sebagai berikut.

1. Program pengembangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal.
2. Penyediaan sarana sanitasi pedesaan.
3. Pelatihan pengelolaan lingkungan untuk masyarakat.
4. Pengembangan tempat pengolahan sampah terpadu.
5. Peningkatan kinerja pengolahan air limbah industri.
6. Pengembangan dan penerapan teknik produksi bersih untuk industri.
7. Pengendalian limbah cair dan sludge kegiatan pertambangan.
8. Pengembangan sistem informasi lingkungan.
9. Pengawasan dan evaluasi implementasi program dan revisi program.
10. Program pengembangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terpadu untuk industri kecil / menengah.
11. Evaluasi dan penyempurnaan implementasi pemantauan kualitas air yang telah berjalan.
12. Pemantauan rutin kualitas limbah cair.
13. Pengembangan sarana dan prasarana pemantauan kualitas air dan limbah cair, serta laboratorium terakreditasi.

Namun, tidak semua upaya tersebut berhasil dilakukan secara maksimal dikarenakan beberapa faktor, seperti:

1. Koordinasi yang tidak berjalan dengan lancar.
2. Kurangnya sumber daya manusia.
3. Keterbatasan dana.
4. Sumber daya alam belum tersedia.

## 2.6 Fikoremediasi

Menurut Koul *et al.* (2022), fikoremediasi adalah penggunaan alga untuk menghilangkan atau mengubah polutan, nutrisi, dan racun lainnya dari air. Jenis alga bermacam-macam mulai dari makroalga, mikroalga, organisme bersel satu, serta organisme bersel lebih dari satu, dan juga memiliki bentuk yang kompleks. Umumnya alga dapat ditemukan di tempat yang lembab atau badan air. Layaknya tumbuhan, alga memerlukan tiga komponen utama untuk tumbuh, yaitu: cahaya matahari, karbon dioksida, dan air. Komponen cahaya matahari dan karbondioksida digunakan oleh alga untuk proses fotosintesis (Choi & Lee, 2012).



Alga dikategorikan menjadi 4 kelas, yaitu: *diatoms (Bacillariophyceae)*, *green algae (Chlorophyceae)*, *blue-green algae (Cyanophyceae)*, dan *golden algae (Chrysophyceae)* (Demirbas & Demirbas, 2010). Menurut Jose & Archanaa (2019); John *et al.* (2020), keunggulan fikoremediasi adalah sebagai berikut.

1. Alga dapat melakukan proses fotosintesis. Sehingga alga tersebut dapat mengurangi konsentrasi CO<sub>2</sub> yang ada dan dapat menghasilkan O<sub>2</sub>.
2. Di dalam air terdapat kandungan senyawa organik, anorganik, nitrogen, fosfor, logam, dll. Sehingga dapat menjadi tempat yang cocok untuk pertumbuhan dan perkembangan alga.
3. Fikoremediasi biasanya tidak menghasilkan *residual sludge*.

4. Lebih efisien dikarenakan dapat mengurangi konsentrasi polutan dan patogen, sekaligus membantu pemulihan nutrisi dalam media dengan biomasnya.
5. Hemat energi dan biaya.
6. Dapat berfungsi sebagai sumber makanan bagi biota air.

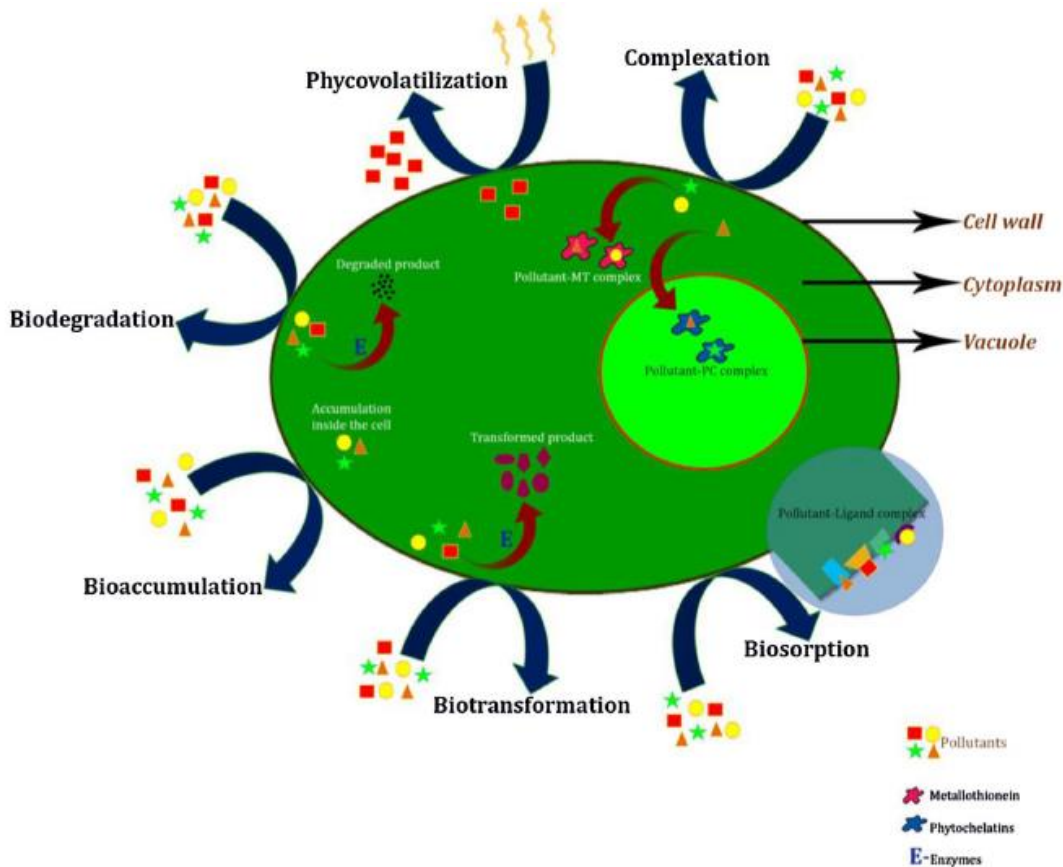
Alga membutuhkan cahaya matahari untuk tumbuh dan berkembang. Sebagian sinar matahari dipantulkan oleh permukaan air. Semakin dalam, intensitas sinar matahari semakin berkurang dikarenakan diserap oleh air dan benda-benda yang berada dalam air. Spektrum cahaya merah adalah paling cepat menghilang seiring dengan kedalaman air, kemudian diikuti oleh spektrum cahaya warna oranye, kuning, hijau, biru, dan nila. Alga dapat hidup pada kedalaman air antara 0 m – 300 m. Namun, hal ini dapat dipengaruhi beberapa faktor, seperti: suhu, salinitas, arus, dan pasang surut. Contohnya: batas kedalaman alga di Samudra Pasifik berada pada 300 m, tetapi di Atlantik biasanya 200 m, Laut Mediterania 150 m, Laut Hitam 100 m, sedangkan di Samudra Arktik dimana cahaya matahari jatuh pada sudut yang lebih tajam, tidak ada alga yang hidup di bawah kedalaman 45 m.

Pada permukaan air hingga kedalaman 6 m, dimana proporsi spektrum cahaya merah paling tinggi (membawa energi tertinggi untuk fotosintesis) biasanya didominasi oleh *green algae* (*Chlorophyceae*) yang memiliki pigmen fotosintesis yang sama seperti tumbuhan daratan. Antara kedalaman 6 m hingga 30 m, dimana spektrum cahaya kuning berlimpah biasanya didominasi oleh *brown algae* (*Phaeophyceae*). Pada kedalaman di bawah 35 m, *red algae* (*Rhodophyta*) menemukan lokasi optimal untuk proses fotosintesis mereka, yaitu dalam area yang memiliki spektrum cahaya hijau yang banyak. *Red algae* memiliki pigmen merah yang disebut sebagai *phycoeritrin*, yang menutupi klorofil hijau serta memungkinkan penyerapan spektrum cahaya hijau. Namun tidak semua spesies mengikuti aturan ini, contohnya adalah *Cladophora* yang merupakan salah satu spesies *green algae*, alga ini dapat tumbuh hingga kedalaman 80 m. Selain itu, beberapa jenis alga dapat mengubah pigmen tergantung pada jenis cahaya yang mereka dapatkan, contohnya *Oscillatoria* berubah menjadi hijau-kebiruan dalam cahaya merah, karena pigmen *phycoerythrin*, sedangkan di bawah cahaya hijau atau biru, berubah menjadi merah karena pigmen *phycoeritrin* (Anitei, 2008).

Terdapat banyak senyawa dan mikroorganisme ditemukan dalam air yang dapat menyebabkan polusi air, serta dapat dikategorikan menjadi: bahan organik, bahan anorganik, dan kandungan mikroba. Senyawa organik terdiri dari sejumlah besar senyawa yang memiliki setidaknya satu atom karbon (C). Atom karbon ini dapat teroksidasi baik secara kimia maupun biologis untuk menghasilkan karbondioksida. Alga dapat menghasilkan O<sub>2</sub> dari proses fotosintesis yang dibutuhkan oleh mikroorganisme yang dapat melakukan oksidasi senyawa organik tersebut, sehingga secara tidak langsung alga dapat menurunkan konsentrasi senyawa organik dalam suatu media air. Alga juga membutuhkan nutrisi seperti nitrogen (N) dan fosfor (P) untuk pertumbuhannya, sehingga alga dapat menyerap dan menurunkan konsentrasi nutrisi dalam suatu media air (Abdel-Raouf *et al.*, 2012).

## 2.7 Mekanisme Fikoremediasi

Menurut Shackira *et al.* (2022), mekanisme pasti dari fikoremediasi masih belum terungkap se jelas fitoremediasi. Namun, beberapa laporan menyatakan bahwa alga mengikat senyawa beracun dengan bantuan molekul reseptor dinding selnya, seperti: lipid, protein, dan polisakarida. Beberapa jenis alga dapat menyerap dan memanfaatkan polutan beracun untuk proses metabolismenya dan mengubahnya menjadi zat yang tidak beracun. Mekanisme fikoremediasi dapat dikategorikan secara luas sebagai: biosorpsi, biotransformasi, biodegradasi, bioakumulasi, kompleksasi, dan fikovolatilisasi (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Mekanisme Fikoremediasi  
 Sumber: Shackira *et al.*, 2022

### 2.7.1 Biosorpsi

Biosorpsi adalah proses fisik dimana polutan dapat diadsorpsi, dikomplekskan, atau diendapkan di permukaan dinding sel alga. Dinding sel alga adalah matriks bersifat amorf, yang terdiri dari selulosa, berbagai polisakarida dan protein yang bertindak sebagai tempat pengikatan berbagai jenis polutan. Proses biosorpsi dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti: pH, konsentrasi polutan, ion yang bersaing, dosis biosorben, dan jangka waktu kontak antara biomassa dan polutan. Alga coklat yang termasuk dalam kelompok Phaeophyceae merupakan kandidat yang sangat baik untuk biosorpsi dikarenakan ukurannya yang besar, tersedia dalam jumlah besar, dan menghasilkan lumpur yang sedikit. Contohnya: alga *Anabaena sphaerica* memiliki kemampuan untuk biosorpsi 2 jenis ion logam ( $Pb^{2+}$  dan  $Cd^{2+}$ ), ion logam tersebut diserap ke gugus fungsi seperti: *hydroxyl*, *amino*, dan *carbonyl* yang terdapat dalam permukaan selnya.

### 2.7.2 Biotransformasi

Biotransformasi adalah proses yang dikatalisis oleh enzim dimana polutan beracun diubah menjadi zat yang lebih atau kurang beracun. Aspek penting lain dari biotransformasi adalah produksi senyawa kimia baru dari kontaminan yang berguna dalam industri kimia. Contohnya: alga *Chlamydomonas reinhardtii* memiliki enzim yang dapat mereduksi ikatan rangkap karbon.



### 2.7.3 Biodegradasi

Biodegradasi adalah proses degradasi polutan organik dan anorganik dalam sel alga oleh berbagai enzim yang ada pada alga. Dalam beberapa kasus, polutan benar-benar terdegradasi menjadi molekul sederhana yang tidak berbahaya seperti air dan karbondioksida. Selain itu, beberapa enzim degradatif pada alga dapat mengubah polutan menjadi unsur mineral yang berguna melalui proses yang disebut sebagai biomineralisasi. Contohnya: alga *Selenastrum capricornutum* dapat mendegradasi polutan karsinogenik Benzo[a]pyrene (BaP) secara efektif.

### 2.7.4 Bioakumulasi

Dalam proses ini, polutan memasuki sel alga melalui endositosis atau dengan transportasi aktif dari berbagai *transporter*. Untuk merespon akumulasi polutan ini, alga menginduksi strategi pertahanan enzim antioksidan seperti: *ascorbate peroxidase (APX)*, *gluthathione peroxidase (GPX)*, dan *superoxide dismutase (SOD)* untuk mengurangi stres oksidatif yang dihasilkan oleh ion beracun. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa bioakumulasi merupakan proses detoksifikasi aktif dan dapat mempengaruhi berbagai aktivitas metabolisme sel alga. Laju bioakumulasi sangat tergantung pada jenis alga, konsentrasi polutan, dan faktor lingkungan lainnya. Contohnya: alga *Polyphysa peniculus* dapat menghilangkan arsenik (As) dari air limbah, dan mengakumulasinya dalam bentuk arsenit dan dimetilarsinat di dalam selnya.

### 2.7.5 Kompleksasi

Dalam proses ini, sel alga akan menyerap kontaminan dari air limbah dan mengikatnya dalam molekul lain seperti: molekul pembawa ion, senyawa dengan berat molekul rendah termasuk *metallothioneins (MTs)* atau *phytochelatins (PCs)*, dan senyawa polifosfat. Pada dasarnya, *MTs* dan *PCs* adalah polipeptida yang kaya akan residu sistein, terdapat gugus sulfida dalam residu ini yang memainkan peran penting dalam proses detoksifikasi logam dengan membuat kompleks dengan gugus sulfida yang bermuatan negatif. *MTs* adalah protein kecil yang mengandung kurang dari 300 residu asam amino dan terletak di sitosol sel. *PCs* terdiri dari beberapa unit  $\gamma$ -*glutamylcysteine* yang terikat pada unit glisin terminal dan sebagian besar terdapat pada vakuola sel. Contohnya: alga *Chlamydomonas reinhardtii* dapat mendetoksifikasi ion logam seperti: Hg, Cd, dan Ag yang terdapat dalam air limbah, detoksifikasi ini dilakukan dengan cara kompleksasi ion logam dengan asam asetat dan asam malat.

### 2.7.6 Fikovolatilisasi

Fikovolatilisasi adalah transformasi kontaminan beracun, termasuk logam berat (seperti Se, Hg, As, dll.) menjadi bentuk volatil dengan bantuan alga. Dalam proses ini, alga menyerap polutan dari air limbah untuk pertumbuhan dan perkembangan sel. Setelah diserap, polutan dapat berubah bentuk menjadi senyawa gas dan menguap ke atmosfer. Fikovolatilisasi dipengaruhi oleh temperatur, cahaya, dan nutrisi biomassa. Senyawa organik yang diuapkan dapat bergerak dalam jarak yang jauh dari titik sumber dan turun kembali di wilayah lain. Siklus volatilisasi dan deposisi ini dapat berulang dan dapat membentuk kekurangan yang signifikan dari proses detoksifikasi, yaitu kontaminan tidak sepenuhnya terdegradasi. Contohnya: alga *Chlorella emersonii* dapat menguapkan merkuri, laju penguapan tersebut dapat meningkat jika kepadatan inokulum bertambah.

## 2.8 Spesies Alga sebagai Fikoremediator

Alga sebagai fikoremediator adalah alga yang mampu tumbuh di habitat yang tercemar oleh polutan dan memiliki kemampuan untuk menyerap atau mengurangi polutan dari medianya dan mengubahnya menjadi senyawa yang tidak atau kurang berbahaya. Beberapa jenis alga yang dapat dimanfaatkan sebagai fikoremediator adalah sebagai berikut.

### 1. *Monoraphidium braunii*

*Monoraphidium braunii* (Gambar 2.4) adalah alga hijau air tawar yang ditemukan di amerika. Spesies ini dapat tumbuh ditempat dengan penyinaran yang rendah dan dapat memperoleh kepadatan sel yang tinggi jika tumbuh pada suhu 10°C (Holbrook *et al.*, 2014). Menurut ITIS (2022), taksonomi *M. braunii* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Chlorophyceae  
Ordo : Sphaeropleales  
Famili : Selenastraceae  
Genus : Monoraphidium  
Spesies : braunii



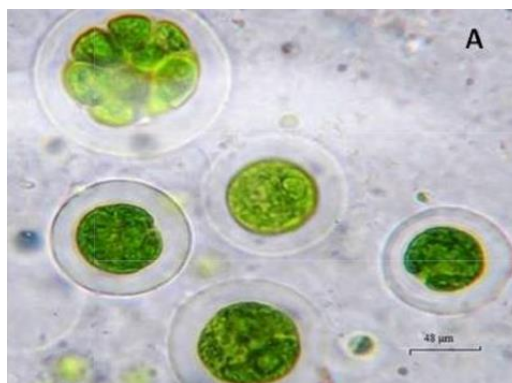
Gambar 2.4 *Monoraphidium braunii*

Sumber: [https://sagdb.uni-goettingen.de/detailedList.php?str\\_number=202-7d](https://sagdb.uni-goettingen.de/detailedList.php?str_number=202-7d)

### 2. *Chlorococcum humicola*

*Chlorococcum humicola* (Gambar 2.5) adalah alga hijau yang hidup pada air tawar. *C. humicola* memiliki sel berbentuk bulat dan dinding sel yang halus. *C. humicola* memiliki ukuran sel sekitar 48μm - 58μm, seta memiliki bulatan berongga seperti kloroplas (Santhoskumar *et al.*, 2016). Menurut ITIS (2022), taksonomi *C. humicola* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Chlorophyceae  
Ordo : Chlamydomonadales  
Famili : Chlorococcaceae  
Genus : Chlorococcum  
Spesies : humicola



Gambar 2.5 *Chlorococcum humicola*  
Sumber: Santhoskumar *et al.*, 2016

### 3. *Scenedesmus acutus*

*Scenedesmus acutus* (Gambar 2.6) adalah alga hijau yang hidup pada air tawar. *S. acutus* memiliki kemampuan fiksasi CO<sub>2</sub> yang efisien, pengolahan air limbah dan akumulasi lipid untuk produksi *biofuel* (de Alva *et al.*, 2013). Menurut ITIS (2022), taksonomi *S. acutus* adalah sebagai berikut.

- Divisi : Chlorophyta
- Kelas : Chlorophyceae
- Ordo : Sphaeropleales
- Famili : Scenedesmaceae
- Genus : Scenedesmus
- Spesies : acutus



Gambar 2.6 *Scenedesmus acutus*

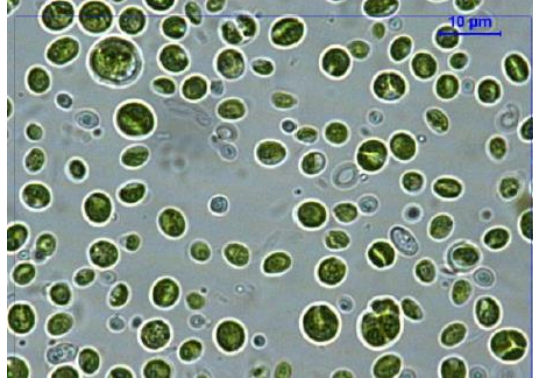
Sumber: [http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus/acutus/sp\\_01.html](http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus/acutus/sp_01.html)

### 4. *Chlorella sorokiniana*

*Chlorella sorokiniana* (Gambar 2.7) adalah spesies alga hijau yang hidup di air tawar. *C. sorokiniana* memiliki warna hijau zamrud dan memiliki bau yang menyerupai rumput. *C. sorokiniana* mampu tumbuh dalam keadaan *mixotrophic* dengan menggunakan fotosintesis karbon dan karbon organik dari beberapa jenis molekul, seperti: glukosa, gliserol, etanol, dan asetat. Selain itu, *C. sorokiniana* dianggap sebagai salah satu jenis alga yang paling produktif untuk *biofuel* dan bioproduct lainnya (Zhu *et al.*, 2021). Menurut ITIS (2022), taksonomi *C. sorokiniana* adalah sebagai berikut.

- Divisi : Chlorophyta
- Kelas : Trebouxiophyceae
- Ordo : Chlorellales

Famili : Oocystaceae  
Genus : Chlorella  
Spesies : sorokiniana

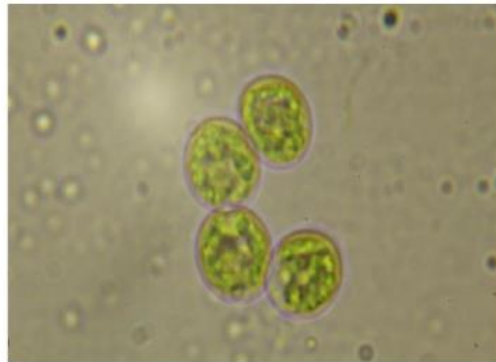


Gambar 2.7 *Chlorella sorokiniana*  
Sumber: Chader *et al.*, 2011

### 5. *Chlorella pyrenoidosa*

*Chlorella pyrenoidosa* (Gambar 2.8) adalah spesies alga hijau air tawar. Keunggulan *C. pyrenoidosa* sebagai agen fikoremediasi adalah dapat tumbuh dengan cepat, mudah untuk dibiakkan, memiliki ukuran kecil sehingga memiliki lebih banyak area penyerapan yang membuatnya menjadi agen penyerapan yang lebih baik daripada sel yang memiliki ukuran besar (Sari *et al.*, 2014). Menurut ITIS (2022), taksonomi *C. pyrenoidosa* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Trebouxiophyceae  
Ordo : Chlorellales  
Famili : Oocystaceae  
Genus : Chlorella  
Spesies : pyrenoidosa



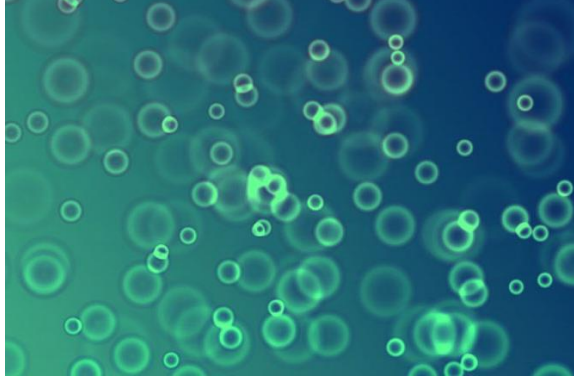
Gambar 2.8 *Chlorella pyrenoidosa*  
Sumber: Jaiswal & Ramaswamy, 2016

### 6. *Scenedesmus rubescens*

*Scenedesmus rubescens* (Gambar 2.9) adalah alga hijau yang dapat ditemukan pada air tawar. *S. rubescens* memiliki kemampuan pertahanan diri yang kuat untuk melindunginya dari lingkungan yang keras. Menurut ITIS (2022), taksonomi *S. rubescens* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Chlorophyceae

Ordo : Sphaeropleales  
Famili : Scenedesmaceae  
Genus : Scenedesmus  
Spesies : rubescens



Gambar 2.9 *Scenedesmus rubescens*

Sumber: <https://purezanature.com/scenedesmus-rubescens>

### 7. *Botryococcus braunii*

*Botryococcus braunii* (Gambar 2.10) adalah alga hijau yang dapat ditemukan pada air tawar. *B. braunii* memproduksi lipid yang dapat diolah menjadi biodiesel. (Saputro *et al.*, 2015). Menurut ITIS (2022), taksonomi *B. braunii* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Trebouxiophyceae  
Ordo : Trebouxiales  
Famili : Botryococcaceae  
Genus : Botryococcus  
Spesies : braunii



Gambar 2.10 *Botryococcus braunii*

Sumber: Ramaraj *et al.*, 2016

### 8. *Scenedesmus obliquus*

*Scenedesmus obliquus* (Gambar 2.11) merupakan alga hijau yang dapat ditemukan pada air tawar. *S. obliquus* memiliki vitalitas yang luar biasa pada air limbah dikarenakan tumbuh dengan cepat, tahan berbagai suhu dan pH, serta mudah dibudidayakan (Duan *et al.*, 2020). Menurut ITIS (2022), taksonomi *S. obliquus* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Chlorophyceae

Ordo : Sphaeropleales  
Famili : Scenedesmaceae  
Genus : Scenedesmus  
Spesies : obliquus



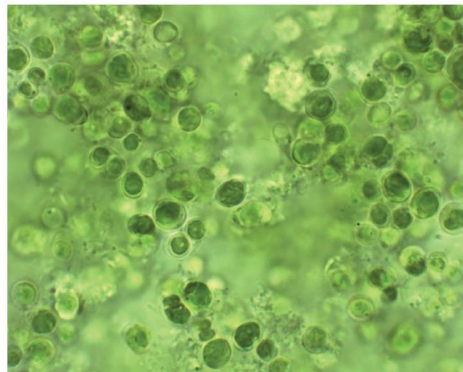
Gambar 2.11 *Scenedesmus obliquus*

Sumber: <https://algoterm.lv/en/seaweed/scenedesmus-obliquus-en/>

## 9. *Chlorella vulgaris*

*Chlorella vulgaris* (Gambar 2.12) adalah spesies mikroalga eukariotik yang umum ditemukan di berbagai habitat air tawar dan tanah alami. *C. vulgaris* memiliki ukuran sel yang relatif kecil, dinding sel yang tipis, tingkat pertumbuhan yang cepat, serta waktu reproduksi yang singkat. *C. vulgaris* ini dapat dengan mudah mengakomodasi perubahan kondisi fisik-kimia. Dalam habitat dengan nutrisi yang terbatas, *C. vulgaris* sering mengakumulasi jumlah lipid yang tinggi sebagai bahan simpanan. Fitur-fitur ini membuat mikroalga ini cocok untuk dibudidayakan dalam air limbah, sehingga dapat digunakan untuk pengolahan air limbah serta pembangkit bioenergi. (Wirth *et al.*, 2020). Menurut ITIS (2022), taksonomi *C. vulgaris* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Trebouxiophyceae  
Ordo : Chlorellales  
Famili : Chlorellaceae  
Genus : Chlorella  
Spesies : vulgaris



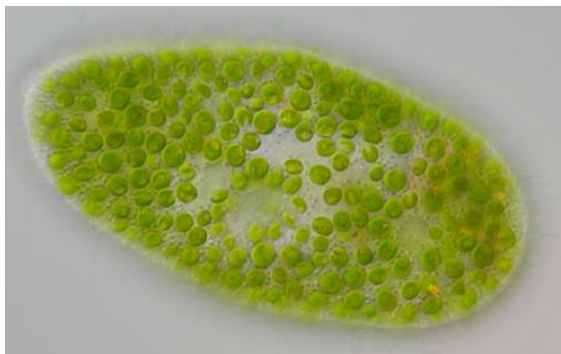
Gambar 2.12 *Chlorella vulgaris*

Sumber: Brzychczyk *et al.*, 2016

## 10. *Chlorella variabilis*

*Chlorella variabilis* (Gambar 2.13) merupakan alga hijau yang dapat ditemukan pada air tawar. *C. variabilis* adalah alga yang memiliki kapasitas dan efisiensi fotosintesis yang tinggi. Selain itu, *C. variabilis* mudah dibudidayakan, berkembang biak dengan cepat, menghasilkan biomassa yang besar. Menurut ITIS (2022), taksonomi *C. variabilis* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Trebouxiophyceae  
Ordo : Chlorellales  
Famili : Chlorellaceae  
Genus : Chlorella  
Spesies : variabilis



Gambar 2.13 *Chlorella variabilis*  
Sumber: Spanner *et al.*, 2020

## 11. *Spirogyra neglecta*

*Spirogyra neglecta* (Gambar 2.14) merupakan alga hijau berserabut yang dapat ditemukan pada air tawar. *S. neglecta* dapat ditemukan pada musim panas, kering, dan sebelum musim hujan (Ontawong *et al.*, 2019). Menurut ITIS (2022), taksonomi *S. neglecta* adalah sebagai berikut.

Divisi : Charophyta  
Kelas : Conjugatophyceae  
Ordo : Zygnematales  
Famili : Zygnemataceae  
Genus : Spirogyra  
Spesies : neglecta



Gambar 2.14 *Spirogyra neglecta*

Sumber: <https://www.megapixel.com/freshwater-algae-spirogyra-neglecta-stock-photo-44012688>

## 12. *Scenedesmus abundans*

*Scenedesmus abundans* (Gambar 2.15) adalah spesies mikroalga air tawar. Keunggulan dari *S. abundans* adalah dapat tumbuh di lingkungan yang keras, membutuhkan jumlah sinar matahari, CO<sub>2</sub>, dan mineral yang sedikit untuk pertumbuhan (Aziz *et al.*, 2014). Menurut ITIS (2022), klasifikasi *S. abundans* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Chlorophyceae  
Ordo : Sphaeropleales  
Famili : Scenedesmaceae  
Genus : Scenedesmus  
Spesies : abundans



Gambar 2.15 *Scenedesmus abundans*

Sumber: <http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus/abundans/abundans9.html>

## 13. *Chlorella minutissima*

*Chlorella minutissima* (Gambar 2.16) adalah spesies mikroalga hijau yang dapat ditemukan di air tawar. *C. minutissima* ditemukan sangat efektif untuk menghilangkan konduktivitas listrik (EC), total padatan terlarut (TDS), fosfor (P), kalium (K), amonium, nitrat, *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, dan *Chemical Oxygen Demand (COD)* dari air limbah (Sharma *et al.*, 2021). *C. minutissima* dapat tumbuh dalam mode nutrisi *autotrophic*, *heterotrophic*, dan *mixotrophic*, serta memiliki kapasitas untuk mengakumulasi lipid pada selnya. Mode nutrisi heterotrofik ditemukan sebagai kondisi yang paling cocok untuk memproduksi biomassa dan akumulasi lipid. Sel *C. minutissima* juga dapat memanfaatkan sumber karbon yang tidak populer seperti gliserol dan asetat yang didapatkan dari limbah industri (Dubey *et al.*, 2015). Menurut ITIS (2022), taksonomi *C. minutissima* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Trebouxiophyceae  
Ordo : Chlorellales  
Famili : Oocystaceae  
Genus : Chlorella  
Spesies : minutissima





Gambar 2.16 *Chlorella minutissima*  
Sumber: Singh *et al.*, 2011

#### 14. *Scenedesmus quadricauda*

*Scenedesmus quadricauda* (Gambar 2.17) adalah spesies mikroalga hijau yang dapat ditemukan di air tawar. *S. quadricauda* memiliki tingkat pertumbuhan yang cepat dan juga memiliki produk bernilai tinggi dalam jumlah besar, seperti asam lemak dan akumulasi pigmen fotosintesis (Wang *et al.*, 2018). Menurut ITIS (2022), taksonomi *S. quadricauda* adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Chlorophyceae  
Ordo : Sphaeropleales  
Famili : Scenedesmaceae  
Genus : Scenedesmus  
Spesies : quadricauda



Gambar 2.17 *Scenedesmus quadricauda*

Sumber: <http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Chlorophyta/Scenedesmus/quadricauda/quadricauda10c.html>

#### 15. *Stigeoclonium sp.*

*Stigeoclonium sp.* (Gambar 2.18) adalah spesies mikroalga hijau eukariotik yang dapat ditemukan di air tawar. *Stigeoclonium sp.* dapat menghasilkan dan menyimpan *polyhydroxybutyrate* dalam kondisi kultur yang berbeda dengan penyimpanan intraseluler biopolimer dalam kondisi nitrogen yang sedikit, serta jumlah natrium asetat yang terbatas.

*Stigeoclonium* sp. memiliki potensi sebagai produser lipid yang digunakan untuk biofuel (Mourao *et al.*, 2020). Menurut ITIS (2022), taksonomi *Stigeoclonium* sp. adalah sebagai berikut.

Divisi : Chlorophyta  
Kelas : Chlorophyceae  
Ordo : Chaetophorales  
Famili : Chaetophoraceae  
Genus : *Stigeoclonium*



Gambar 2.18 *Stigeoclonium* sp.

Sumber: <http://algae.ihb.ac.cn/english/algaeDetail.aspx?id=53>

## 2.9 Teknik Fikoremediasi

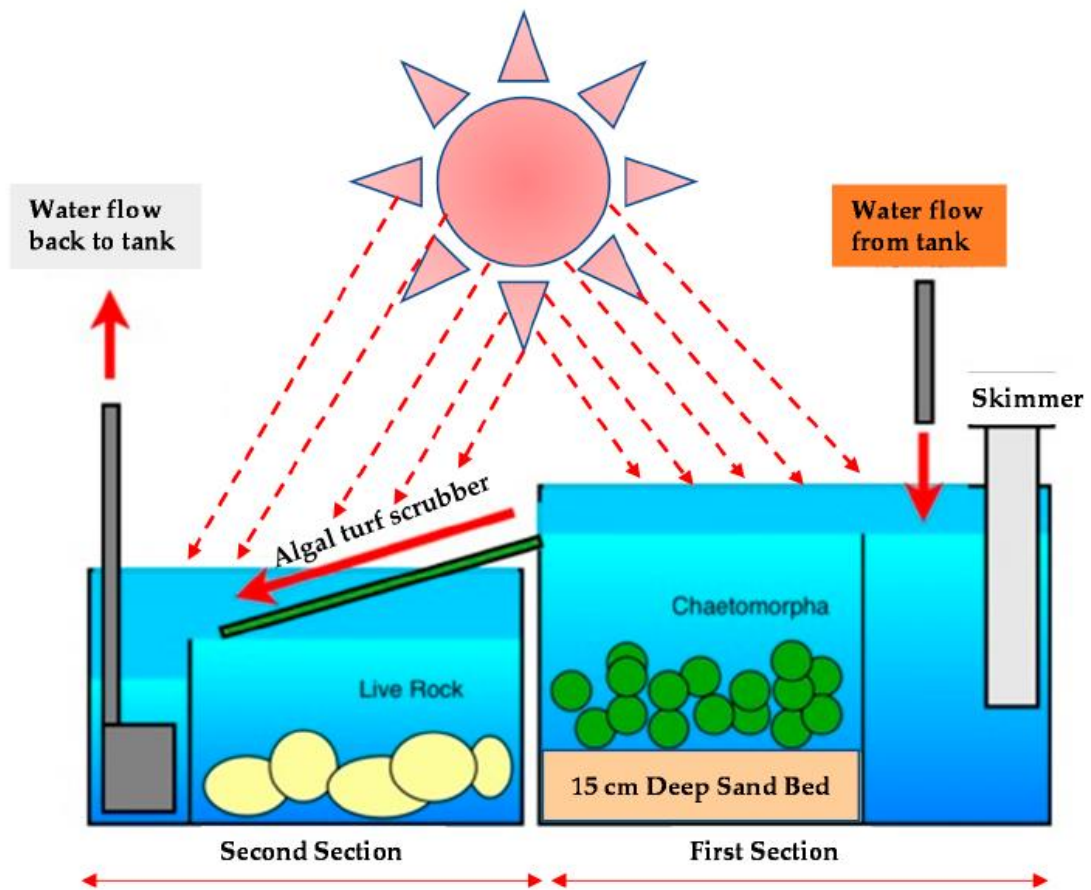
Menurut Razak & Sharip (2019), terdapat beberapa teknik fikoremediasi dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu: *attached system* dan *suspension culture system*. *Attached system* adalah sistem yang menggunakan alga yang menempel pada suatu media, contohnya: *algal biofilms* dan *Algal Turf Scrubbers (ATSS)*. Sedangkan, contoh dari *suspension culture system* adalah *High Rate Algal Ponds (HRAPs)* dan kolam sedimentasi yang tersuspensi secara alami.

### 2.9.1 Algal Turf Scrubber

*Algal Turf Scrubber* (Gambar 2.19) adalah teknologi berbasis *bioengineering* yang membudidayakan dan memanen komunitas alga yang melekat pada pada suatu media dalam bentuk turf (rumput). Alga tumbuh di sebuah landasan miring dalam air yang dangkal, kemudian air dipompa melewati landasan miring tersebut sehingga memungkinkan alga untuk berfotosintesis dan menyerap nutrisi atau senyawa anorganik untuk pertumbuhannya.

Teknologi ini umumnya digunakan untuk mengontrol polusi *non point source* yang berasal dari area pertanian, peternakan, fasilitas akuakultur dan anak sungai. Faktor yang menentukan suksesnya pengurangan nutrisi dengan menggunakan *Algal Turf Scrubber* adalah *Hydraulic Retention Time (HRT)*, intensitas cahaya, suhu, dan gelombang air. Selain itu, kemiringan landasan juga berpengaruh terhadap produktivitas alga. Ditemukan bahwa landasan dengan kemiringan 2% dapat memberikan hasil produksi yang lebih besar dari pada landasan dengan kemiringan 1%, yang mungkin dikarenakan cahaya yang lebih baik dan aliran yang lebih baik.

Kelebihan dari teknik ini adalah memerlukan biaya yang murah, pemanenan biomassa alga yang mudah. Sementara kekurangan dari teknik ini adalah tidak dapat diaplikasikan dalam skala besar.



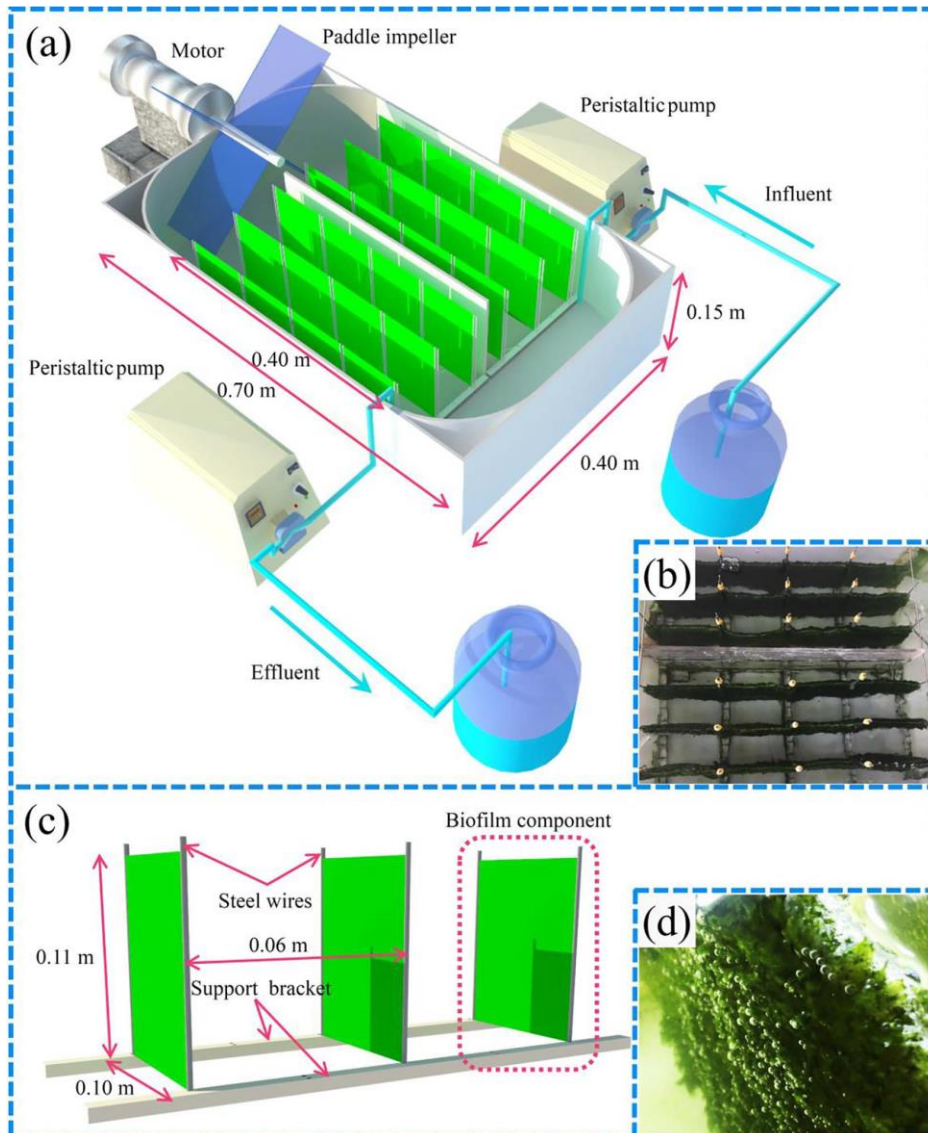
Gambar 2.19 *Algal Turf Scrubber*  
 Sumber: Mehariya *et al.*, 2021.

### 2.9.2 *Algal Biofilms*

*Algal biofilms* (Gambar 2.20) adalah lapisan film yang mengandung mikroorganisme fototrofik yang tumbuh berkoloni di permukaan yang basah atau terendam air dengan adanya cahaya, kelembaban, dan nutrisi. *Algal biofilms* berbasis dari interaksi simbiosis antara mikroalga dan bakteri. Oksigen yang dihasilkan oleh mikroalga selama proses fotosintesis digunakan oleh bakteri dalam biofilm untuk mengoksidasi bahan organik dan nutrisi yang ada dalam air limbah, sedangkan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan selama proses oksidasi dapat berguna untuk fotosintesis mikroalga.

Sifat kimia dan fisika dalam komunitas *algal biofilm* ditentukan oleh *Extracellular Polymeric Substances (EPS)* yang terdiri dari polisakarida, protein, asam nukleat, lipid, dan asam humat. *EPS* berperan penting dalam membantu pergerakan sel, mencegah pengeringan sel, melindungi sel dari zat beracun, dan memberikan stabilitas sebagai bahan perekat. Produksi *EPS* dipengaruhi oleh umur *biofilm*, ketersediaan nutrisi, komposisi spesies, suhu, dan intensitas cahaya. Pertumbuhan *algal biofilm* dan pola pengurangan nutrisi berpola paralel, dimana kapasitas serapan nutrisi rendah selama fase pertumbuhan awal, kemudian meningkat seiring dengan pertumbuhan komunitas mikroorganisme tersebut, dan berkurang pada fase kematian.

Kelebihan dari teknik ini adalah serbaguna dan memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi, yaitu dapat menggabungkan pengurangan nutrisi dalam air sekaligus memproduksi makanan untuk ikan dari biomasnya, selain itu pemanenan biomassa yang mudah dan murah. Sementara kekurangan dari teknik ini adalah tidak dapat diaplikasikan dalam skala besar.



Gambar 2.20 Algal Biofilms  
 Sumber: Zhang *et al.*, 2018

### 2.9.3 High Rate Algal Ponds (HRAPs)

*High Rate Algal Ponds (HRAPs)* (Gambar 2.21) juga dikenal sebagai kolam aerobik, yang merupakan pembudidayaan mikroalga dengan sistem terbuka untuk mengolah air limbah. *HRAP* menggabungkan kolam oksidasi dengan sistem pertumbuhan alga dan biasanya merupakan bagian dari sistem pengolahan air limbah. Teknik ini umum digunakan untuk mengolah air limbah pertanian, perkotaan, dan industri. Umumnya *HRAP* adalah kolam dangkal (0,2 m - 0,5 m) dengan *paddle wheels* untuk mencampur air. Pencampuran ini mendorong pertumbuhan alga dan mencegah pengendapan biomassa. Kumpulan alga dikembangkan secara alami di dalam *HRAP* tanpa spesies alga khusus untuk menginokulasinya.

Pengurangan bahan organik dalam *HRAP* melibatkan hubungan mutualisme antara bakteri dan alga. Proses fotosintesis yang dilakukan oleh alga akan menghasilkan oksigen terlarut yang diperlukan untuk penguraian bahan organik secara aerobik oleh bakteri, sedangkan alga mendapat manfaat dari karbon, nitrogen, dan fosfor yang dihasilkan oleh bakteri selama proses dekomposisi. Terdapat beberapa faktor yang dapat

mempengaruhi pengurangan nutrisi dan polutan dalam *HRAP*, yaitu: *Hydraulic Retention Time (HRT)*. *HRT* adalah jumlah waktu (dalam satuan jam) untuk air limbah melewati suatu tangki. Kedalaman kolam juga merupakan faktor penting bagi *HRAP* dikarenakan, kedalaman kolam dapat mempengaruhi intensitas cahaya yang diterima oleh mikroalga untuk proses fotosintesisnya. Selain itu, *Organic Loading Rate* dan *Horizontal Mixing Velocity* juga merupakan faktor penting dalam *HRAP*, frekuensi pencampuran yang lebih tinggi dapat meningkatkan produktivitas mikroalga sehingga meningkatkan efisiensi pengurangan nutrisi dalam air.

Kelebihan dari teknik ini adalah pengurangan nutrisi dalam jumlah yang tinggi, simpel, dan ekonomis. Sementara kekurangan dari teknik ini adalah sulit, membutuhkan biaya yang tinggi untuk memanen biomassa alga, dan efluen memiliki kualitas yang tidak konsisten.



Gambar 2.21 *High Rate Algal Ponds (HRAPs)*  
Sumber: Krishna *et al.*, 2012

#### **2.9.4 Microbial Dosing**

Menurut Ateia *et al.* (2015), *microbial dosing* adalah teknik yang menggunakan mikroorganisme yang spesifik dan efisien untuk menguraikan, mengubah, dan menyerap polutan dalam air. Mikroorganisme dimasukkan ke dalam badan air secara langsung. Suhu air yang lebih tinggi dan intensitas penyinaran cahaya yang cukup dapat meningkatkan efisiensi removal polutan. Oleh karena itu, waktu yang paling cocok untuk melakukan microbial dosing adalah pada pagi hari yang cerah (Sheng *et al.*, 2012).

#### **2.10 Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Alga dan Removal Nutrisi**

Menurut Moondra *et al.* (2021), pertumbuhan alga dan removal nutrisi bergantung pada beberapa faktor biotik dan abiotik yang secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi efisiensi sistem. Faktor biotik utama yang mempengaruhi pertumbuhan alga adalah ketebalan alga (konsentrasi alga). Ketebalan alga yang berlebih dapat menimbulkan “*self concealing*” yang dapat menurunkan efektivitas fotosintesis. Selain itu, terdapat beberapa faktor abiotik yang mempengaruhi pertumbuhan alga adalah intensitas cahaya, suhu, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, pH, salinitas, dan bahan kimia beracun.

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## BAB III METODE PENULISAN

### 3.1 Tahapan Penulisan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, terdapat dua tahapan yaitu kajian pustaka dan studi kasus sebagai berikut.

#### 3.1.1 Kajian Pustaka

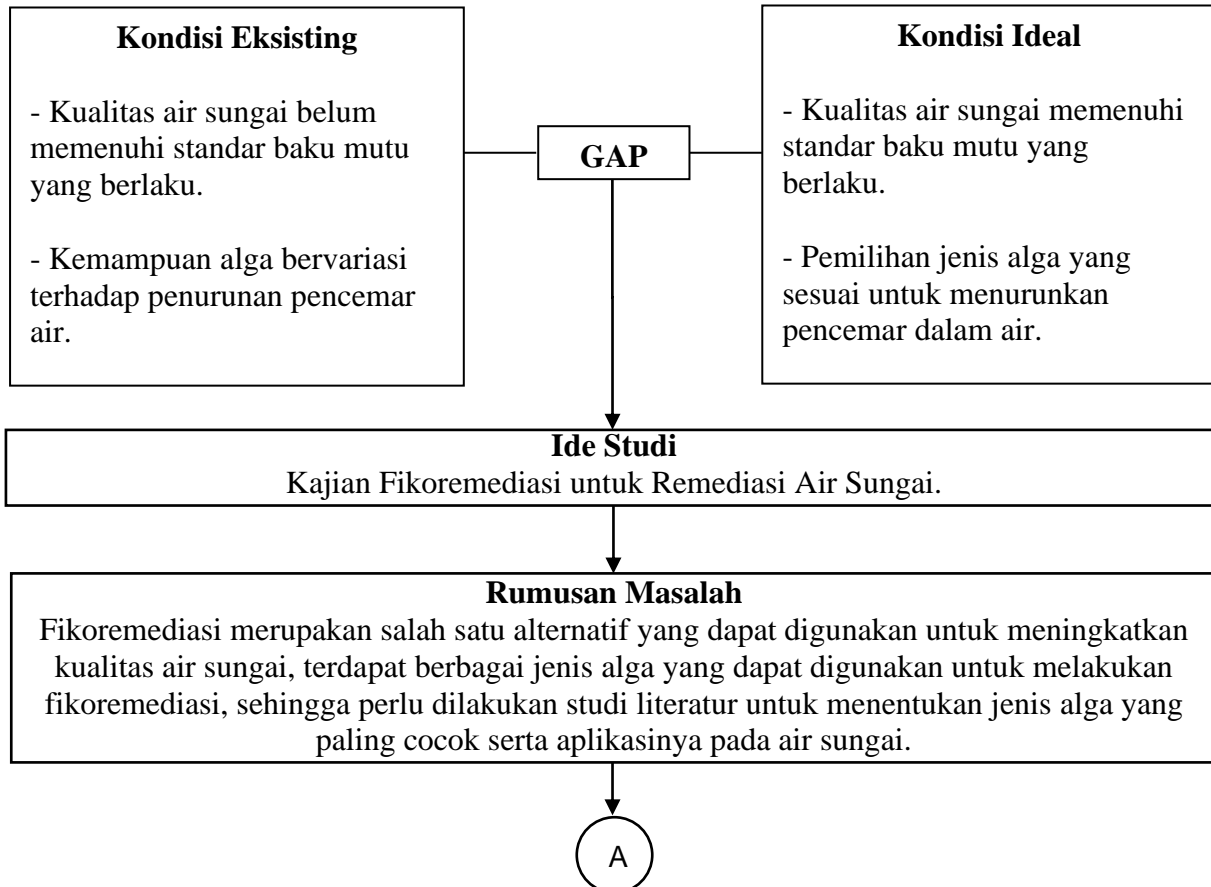
Kajian pustaka dalam studi ini dilakukan untuk mendukung ide serta meningkatkan pemahaman terkait pengkajian yang akan dilakukan. Kajian pustaka dilakukan dengan *systematic review* menggunakan *Mendeley Reference Manager*. Sumber dari literatur yang digunakan berasal dari jurnal penelitian nasional maupun internasional, buku teks, disertasi, tesis, dan skripsi yang berhubungan dengan topik yang akan dikaji yaitu fikoremediasi air sungai. Sumber diutamakan berasal dari 10 tahun terakhir.

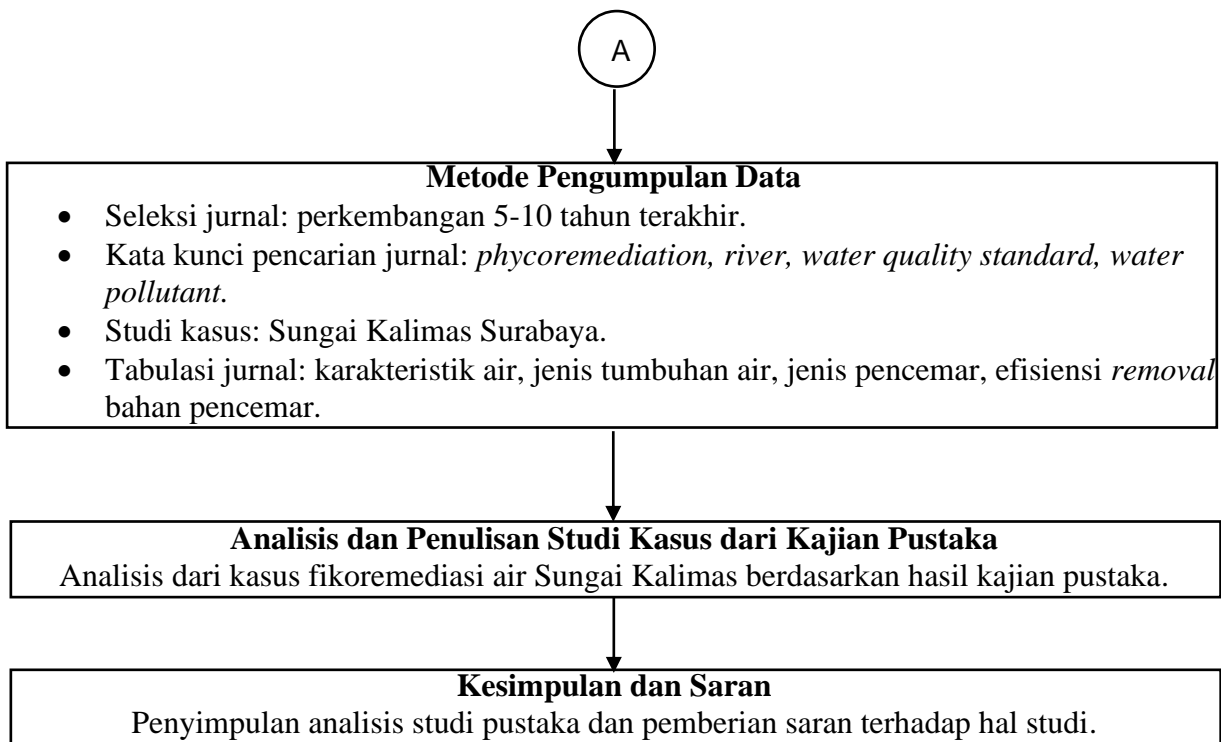
#### 3.1.2 Studi Kasus

Studi kasus dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah tinjauan kasus fikoremediasi air Sungai Kalimas Surabaya dengan referensi berbagai pustaka yang telah dipelajari. Data yang diambil mengenai kasus fikoremediasi air Sungai Kalimas Surabaya adalah data sekunder yang didapatkan dari laporan penelitian.

### 3.2 Kerangka Studi

Kerangka studi merupakan rangkaian alur proses pengerjaan Tugas Akhir. Penyusunan alur berupa langkah-langkah yang bertujuan untuk mempermudah pelaksanaan dan sebagai acuan dalam menjalankan kajian pustaka dengan studi kasus. Kerangka studi dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1 Kerangka Studi

### 3.2.1 Ide Studi

Ide studi dari literatur ini adalah “Kajian Fikoremediasi untuk Remediasi Air Sungai”. Ide studi didapatkan dengan melakukan *gap analysis* untuk membandingkan kondisi eksisting dan kondisi ideal. Ide studi berasal dari masalah akibat perbedaan kondisi eksisting dan kondisi ideal. Perbedaan yang mendasari studi literatur ini adalah pada kondisi eksisting yang menunjukkan kualitas air yang belum memenuhi baku mutu air sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Untuk mencapai kondisi ideal tersebut dapat digunakan teknik fikoremediasi. Kemampuan alga untuk menurunkan kadar pencemar dalam air sangat bervariasi, oleh karena itu diperlukan studi literatur untuk menentukan jenis alga yang paling efektif dan cocok untuk menurunkan kadar pencemar, serta aplikasinya pada air sungai.

### 3.2.2 Pengumpulan Data

Studi literatur bertujuan untuk mendukung dan meningkatkan pemahaman terhadap ide penelitian. Sumber literatur yang digunakan minimal berjumlah 50 jurnal dari jurnal nasional maupun jurnal internasional, buku teks, laporan penelitian, skripsi, tesis, dan disertasi yang berhubungan dengan topik yang dibahas.

Pengumpulan data berupa data sekunder dari hasil penelitian yang dilakukan dengan seleksi literatur dengan perkembangan literatur yang digunakan adalah 5 tahun terakhir, jika tidak memenuhi minimal 50 jurnal maka literatur yang digunakan ditambah menjadi 10 tahun terakhir. Beberapa kata kunci pencarian yang digunakan pada studi literatur ini adalah: *phycoremediation*, *river*, *water quality standard*, *water pollutant*. Selanjutnya dilakukan tabulasi jurnal terhadap karakteristik air, jenis tumbuhan air, jenis pencemar, efisiensi *removal* bahan pencemar.



### **3.2.3 Studi Kasus**

Studi kasus yang digunakan pada studi literatur ini adalah pengolahan air sungai dengan menggunakan teknik fikoremediasi.

### **3.2.4 Analisis dan Penulisan Kajian Pustaka**

Dari data yang telah terkumpul, dilakukan analisis dan pembahasan. Dari analisis ini akan didapatkan rangkuman yang akan ditulis berdasarkan sistematika penulisan Tugas Akhir sebagai berikut.

#### 1. Bab I: Pendahuluan

Bab ini menguraikan tentang latar belakang penulisan Tugas Akhir, penjabaran rumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang akan didapatkan, serta ruang lingkup kajian pustaka dengan studi kasus ini.

#### 2. Bab II: Tinjauan Pustaka

Bab ini menguraikan teori-teori yang berhubungan dengan topik yang akan dibahas.

#### 3. Bab III: Metode Penulisan

Bab ini menguraikan alur proses pengerjaan Tugas Akhir serta jenis-jenis sumber yang digunakan untuk kajian pustaka.

#### 4. Bab IV: Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang kondisi eksisting karakteristik air sungai. Kemudian dilakukan peninjauan fikoremediasi untuk memenuhi baku mutu air sungai sesuai dengan peraturan yang berlaku, serta aplikasinya pada Sungai Kalimas Surabaya.

#### 5. Bab V: Kesimpulan dan Saran

Bab ini menguraikan tentang kesimpulan dan saran yang diperlukan.

### **3.2.5 Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil pembahasan, selain itu kesimpulan harus menjawab rumusan masalah dan sesuai dengan tujuan Tugas Akhir yang ingin dicapai. Saran diberikan sebagai rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## **BAB IV PEMBAHASAN**

### **4.1 Sungai Kalimas**

#### **4.1.1 Gambaran Umum**

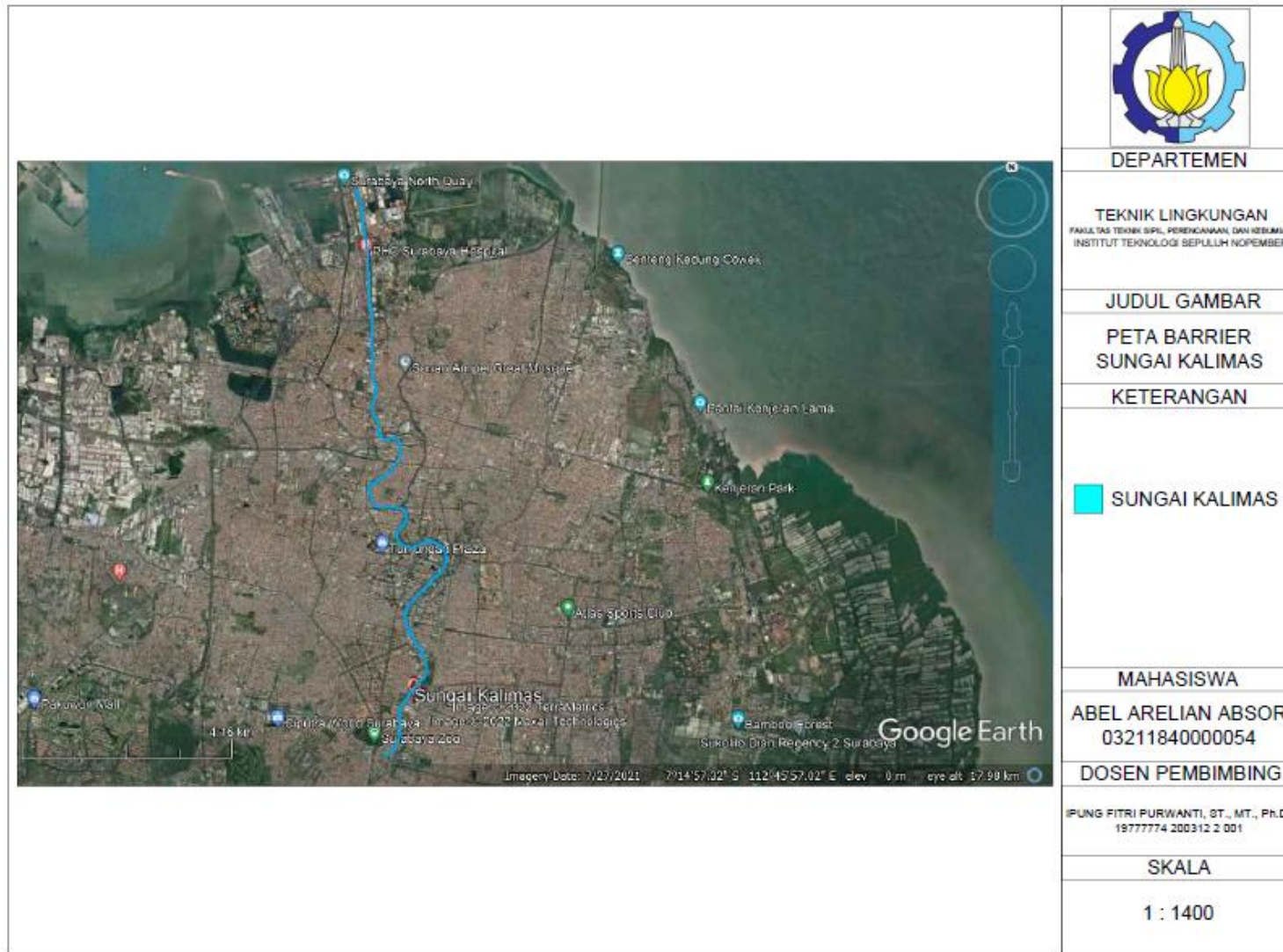
Sungai utama yang berada di Kota Surabaya berasal dari Kali Brantas yang bersumber pada mata air Arboterum yang terletak di Kota Batu (Perdana, 2018). Kemudian, Kali Brantas terbagi menjadi dua, menjadi Kali Porong dan Kali Surabaya yang dimensinya lebih kecil. Di Wonokromo, Kali Surabaya terpecah menjadi dua anak sungai, yaitu Kalimas dan Kali Wonokromo. Sungai Kalimas (Gambar 4.1) mengalir ke arah utara Kota Surabaya sepanjang 12 kilometer dari Pintu Air Ngagel hingga kawasan Tanjung Perak (Gambar 4.2) dan memiliki bentuk sungai yang meliuk dan sebagian lurus, khususnya di bagian utara. Sungai Kalimas memiliki kedalaman 1-3 meter dan pada saat air laut surut, kedalaman Sungai Kalimas berubah menjadi 1-2 meter. Lebar penampang permukaan sungai bervariasi antara 20 m – 35 m. Bagian terlebar terdapat di Ngagel dengan lebar sungai sekitar 35 meter, di daerah ini kondisi air termasuk yang paling bersih, sehingga warga setempat memanfaatkan air Sungai Kalimas untuk mandi dan cuci. Untuk lebar sungai tersempit terdapat pada kelurahan Bongkaran dengan lebar sekitar 20 meter (Maghfiroh, 2016).

Menurut DLH Kota Surabaya (2018), Pertemuan antara air sungai (tawar) dengan air laut (asin) di Sungai Kalimas, sebenarnya berada di kawasan Pintu Air Kayoon. Namun karena daya dorong air tawar terhadap air laut di kawasan tersebut, air tawar dapat dirasakan dari ujung selatan (kawasan Ngagel) hingga kawasan monumen kapal selam (monkasel). Air sungai yang mulai terasa asin terdapat pada alur antara Monkasel hingga Peneleh. Air payau terdapat dari kawasan Peneleh hingga kawasan Jembatan Merah atau Jembatan Petekan. Sedangkan air sungai yang benar-benar berupa air laut (air asin) berada di alur antara Jembatan Petekan hingga ke laut. Sungai Kalimas memiliki kecepatan aliran 0,47 m/s (Sumaji, 2017).



Gambar 4.1 Sungai Kalimas

Sumber: [https://www.tripadvisor.co.id/LocationPhotoDirectLink-g297715-d4350879-i158741313-Kalimas\\_River-Surabaya\\_East\\_Java\\_Java.html](https://www.tripadvisor.co.id/LocationPhotoDirectLink-g297715-d4350879-i158741313-Kalimas_River-Surabaya_East_Java_Java.html)



Gambar 4.2 Peta Sungai Kalimas  
 Sumber: <https://goo.gl/maps/Z1cdKtnwEp8nJL3J9>

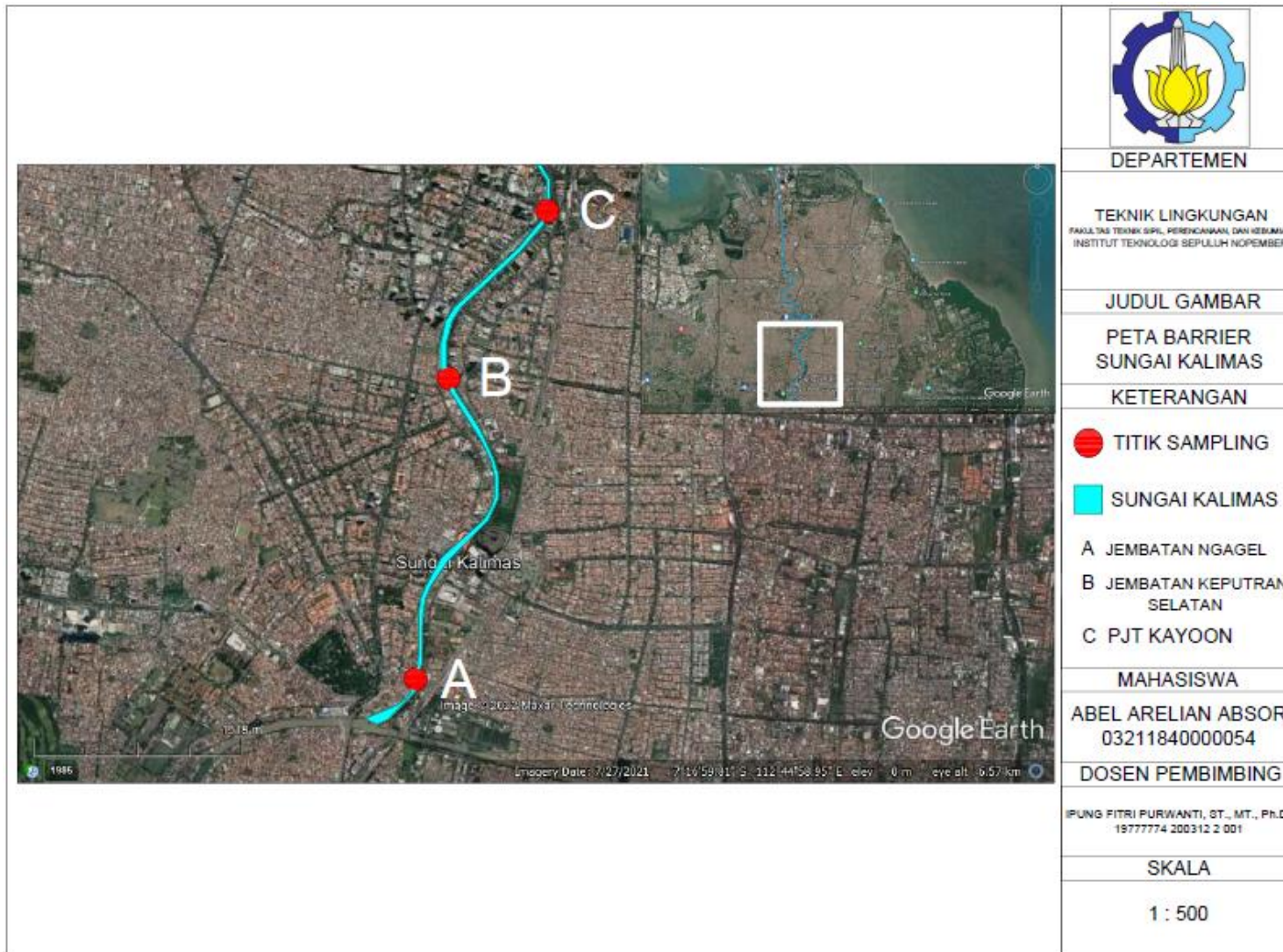
#### 4.1.2 Kualitas Air Sungai Kalimas

Tabel 4.1 menunjukkan data karakteristik air Sungai Kalimas yang diambil dari tiga titik sampling (Gambar 4.3), yaitu: Jembatan Ngagel (a), Jembatan Keputran Selatan (b), dan PJT Kayoon (c).

Tabel 4.1 Karakteristik Air Sungai Kalimas

Parameter	Nilai Pada Titik Sampling			Satuan
	A	B	C	
<i>Temperature</i>	32,6	32,5	32,1	°C
<i>Total Dissolved Solid</i>	265	263	266	mg/L
<i>Total Suspended Solid</i>	6	10	9	NTU
<i>pH</i>	7,77	7,25	7,45	pH unit
<i>Dissolved Oxygen</i>	3,3	3	3,2	mg/L
<i>Biochemical Oxygen Demand</i>	8	<2	6	mg/L
<i>Chemical Oxygen Demand</i>	38	<23,4	29	mg/L
<i>Total Posphate</i>	0,71	0,37	0,49	mg/L
<i>Nitrate</i>	<0,02	<0,02	<0,02	mg/L
<i>Ammonium</i>	1,21	0,3	0,77	mg/L
<i>Arsenic</i>	<0,00005	<0,00005	<0,00005	mg/L
<i>Cobalt</i>	0,051	0,016	0,044	mg/L
<i>Barium</i>	<0,0038	<0,0038	<0,0038	mg/L
<i>Boron</i>	<0,0015	<0,0015	<0,0015	mg/L
<i>Selenium</i>	<0,006	<0,006	<0,006	mg/L
<i>Cadmium</i>	0,017	<0,003	0,008	mg/L
<i>Hexavalent Chromium</i>	<0,02	<0,02	<0,02	mg/L
<i>Copper</i>	0,03	<0,008	0,02	mg/L
<i>Iron</i>	0,02	0,03	0,03	mg/L
<i>Lead</i>	<0,006	<0,006	<0,006	mg/L
<i>Manganese</i>	0,16	0,15	0,15	mg/L
<i>Mercury</i>	<0,00008	<0,00008	<0,00008	mg/L
<i>Zinc</i>	0,02	0,037	0,04	mg/L
<i>Chloride</i>	30	25	30	mg/L
<i>Cyanide</i>	<0,01	<0,01	<0,01	mg/L
<i>Fluoride</i>	<0,5	<0,5	<0,5	mg/L
<i>Nitrite</i>	2,89	1,86	2,39	mg/L
<i>Sulfate</i>	38,4	37,9	39	mg/L
<i>Free Chlorine</i>	0,04	0,02	0,03	mg/L
<i>Sulfide</i>	<0,0008	<0,0008	<0,0008	mg/L
<i>Fecal Coliform</i>	100	-	900	MPN/100 ml
<i>Total Coliform</i>	4000	-	5600	MPN/100 ml
<i>Oil and Grease</i>	<1	<1	<1	mg/L
<i>Surfactants</i>	0,658	<0,005	<0,005	mg/L
<i>Phenol</i>	<MDL	0,005	<MDL	mg/L

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2018



Gambar 4.3 Peta Lokasi Titik Sampling  
 Sumber: <https://goo.gl/maps/Z1cdKtnwEp8nJL3J9>

#### 4.1.3 Parameter yang Tidak Memenuhi Baku Mutu

Menurut Perda Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2014, Sungai Kalimas digunakan sebagai tempat wisata dan pusat pelayanan angkutan sungai, sehingga Sungai Kalimas harus memenuhi baku mutu air Kelas II sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Berdasarkan data yang telah didapatkan, terdapat beberapa parameter yang belum memenuhi baku mutu air Kelas II sebagai berikut (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Kondisi Parameter Air Sungai Kalimas

Parameter	Nilai Rata-rata Tiap Parameter <sup>a</sup>	Baku Mutu <sup>b</sup>	Satuan	Keterangan
<i>Temperature</i>	32,4	-	°C	Memenuhi
<i>Total Dissolved Solid</i>	264,6	1000	mg/L	Memenuhi
<i>Total Suspended Solid</i>	8,3	50	NTU	Memenuhi
<i>pH</i>	7,49	6-9	pH unit	Memenuhi
<i>Dissolved Oxygen</i>	3,2	4	mg/L	Memenuhi
<i>Biochemical Oxygen Demand</i>	5	3	mg/L	Tidak Memenuhi
<i>Chemical Oxygen Demand</i>	30	25	mg/L	Tidak Memenuhi
<i>Total Pospbate</i>	0,52	0,2	mg/L	Tidak Memenuhi
<i>Nitrate</i>	<0,02	10	mg/L	Memenuhi
<i>Ammonium</i>	0,76	0,2	mg/L	Tidak Memenuhi
<i>Arsenic</i>	<0,00005	0,05	mg/L	Memenuhi
<i>Cobalt</i>	0,037	0,2	mg/L	Memenuhi
<i>Barium</i>	<0,0038	-	mg/L	Memenuhi
<i>Boron</i>	<0,0015	1	mg/L	Memenuhi
<i>Selenium</i>	<0,006	0,05	mg/L	Memenuhi
<i>Cadmium</i>	0,009	0,01	mg/L	Memenuhi
<i>Hexavalent Chromium</i>	<0,02	0,05	mg/L	Memenuhi
<i>Copper</i>	0,02	0,02	mg/L	Memenuhi
<i>Iron</i>	0,03	-	mg/L	Memenuhi
<i>Lead</i>	<0,006	0,03	mg/L	Memenuhi
<i>Manganese</i>	0,15	-	mg/L	Memenuhi
<i>Mercury</i>	<0,00008	0,002	mg/L	Memenuhi
<i>Zinc</i>	0,032	0,05	mg/L	Memenuhi
<i>Chloride</i>	28,3	300	mg/L	Memenuhi
<i>Cyanide</i>	<0,01	0,02	mg/L	Memenuhi
<i>Fluoride</i>	<0,5	1,5	mg/L	Memenuhi
<i>Nitrite</i>	2,38	0,06	mg/L	Tidak Memenuhi
<i>Sulfate</i>	38,4	300	mg/L	Memenuhi
<i>Free Chlorine</i>	0,03	0,03	mg/L	Memenuhi
<i>Sulfide</i>	<0,0008	0,002	mg/L	Memenuhi

Parameter	Nilai Rata-rata Tiap Parameter <sup>a</sup>	Baku Mutu <sup>b</sup>	Satuan	Keterangan
<i>Fecal Coliform</i>	333	1000	MPN/100 ml	Memenuhi
<i>Total Coliform</i>	3533	5000	MPN/100 ml	Memenuhi
<i>Oil and Grease</i>	<1	1	mg/L	Memenuhi
<i>Surfactants</i>	0,25	0,2	mg/L	Tidak Memenuhi
<i>Phenol</i>	0,0016	0,005	mg/L	Memenuhi

Sumber: a. Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2018  
b. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021

Dari data yang tersaji pada Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa terdapat 6 jenis parameter yang melebihi baku mutu sesuai dengan PPRI Nomor 22 Tahun 2021. Parameter tersebut adalah sebagai berikut.

#### 1. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

*Biochemical Oxygen Demand (BOD)* adalah parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh bakteri dan mikroorganisme lain saat menguraikan bahan organik dalam kondisi aerobik (terdapat oksigen) pada suhu tertentu. Sehingga *BOD* adalah ukuran tidak langsung dari konsentrasi bahan organik dalam air (*Water Science School*, 2018). Jika konsentrasi zat organik dalam suatu badan air tinggi, maka jumlah bakteri dalam badan air tersebut akan meningkat dan mengakibatkan habisnya konsentrasi oksigen terlarut (*DO*) dalam badan air tersebut, sehingga dapat mengubah keadaan badan air menjadi anaerobik, serta menimbulkan bau busuk (Hakim, 2016). Pengukuran *BOD* dilakukan dengan cara mengukur pengurangan kadar oksigen yang terdapat di dalam air dalam periode waktu *n* hari. Pengurangan kadar oksigen ini disebabkan oleh kegiatan organisme yang mendegradasi atau mengkonsumsi zat organik dan nutrisi lain yang terdapat dalam air (Raissa, 2017). Periode hari yang umum digunakan adalah 5 hari (*BOD*<sub>5</sub>). Semakin besar angka *BOD*<sub>5</sub>, maka semakin cepat juga oksigen habis dalam media tersebut. Hal ini berarti jumlah oksigen yang tersedia untuk kehidupan biota air dapat berkurang, sehingga dapat menyebabkan menurunnya populasi biota laut yang ada (EPA, 2012).

#### 2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

*Chemical Oxygen Demand (COD)* merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi maupun yang sulit didegradasi secara biologis menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dalam air limbah. Angka *COD* merupakan ukuran pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah dapat teroksidasi melalui proses mikrobiologis dalam air. Umumnya, nilai *COD* lebih besar dari *BOD* dikarenakan *COD* merupakan total zat organik yang terkandung dalam limbah, sedangkan *BOD* hanya merupakan zat organik yang dapat didegradasi (Raissa, 2017). Pengukuran *COD* memiliki keunggulan dibandingkan dengan *BOD*<sub>5</sub> dikarenakan membutuhkan waktu yang singkat (sekitar 3 jam) dibandingkan dengan *BOD*<sub>5</sub> yang membutuhkan waktu inkubasi selama 5 hari. Dalam berbagai jenis limbah, *COD* dapat dikorelasikan dengan *BOD*. Setelah korelasi ditetapkan, pengukuran *COD* dapat membawa banyak manfaat untuk kontrol dan operasi instalasi pengolahan air limbah. Nilai tipikal untuk rasio *BOD/COD* untuk air limbah kota yang tidak diolah berada dalam kisaran 0,3-0,8. Jika rasio air limbah yang tidak diolah adalah 0,5 atau



lebih, maka limbah tersebut dianggap mudah untuk diolah secara biologis. Jika rasio air limbah tersebut berada di bawah 0,3, kemungkinan limbah tersebut memiliki beberapa komponen beracun.

### 3. Fosfat

Fosfat adalah salah satu elemen penting sebagai nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fosfat terbentuk jutaan tahun lalu oleh akumulasi bahan organik di dasar laut. Umumnya, fosfat digunakan untuk pupuk. Fosfat juga dapat diubah menjadi asam fosfat, yang dapat digunakan dalam segala hal mulai dari makanan, produk kosmetik, pakan ternak, deterjen, dan barang elektronik (OCP, 2022). Fosfat tidak memiliki daya racun, namun akumulasinya dalam jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan pengkayaan unsur hara yang ditandai dengan terjadinya ledakan pertumbuhan tumbuhan air (eutrofikasi), sehingga menyebabkan pencemaran air (Apriyani, 2017).

### 4. Amonium

Amonium adalah salah satu jenis senyawa yang sering ditemukan dalam limbah cair. Amonium berasal dari limbah metabolisme hewan. Dalam sel tumbuhan, amonium dianggap sebagai sumber nitrogen yang paling sesuai untuk metabolisme sel. Walaupun amonium merupakan bentuk N yang disukai oleh mikroalga, amonium dalam konsentrasi yang besar dapat berubah menjadi racun dan dapat menyebabkan penghambatan pertumbuhan. Konsentrasi amonium yang tinggi dalam badan air dapat menyebabkan menurunnya konsentrasi oksigen terlarut (*DO*), perubahan pH, produksi sianotoksin, dan eutrofikasi pada hilir badan air. (Salbitani & Carfagna, 2021).

### 5. Nitrit

Nitrit merupakan salah satu bentuk nitrogen (N) yang ada. Umumnya nitrit disebabkan oleh penggunaan pupuk pertanian yang berlebihan dan pembuangan air limbah dari aktivitas manusia, selain itu nitrit juga dapat dihasilkan dari proses denitrifikasi nitrat. Keberadaan nitrit yang berlebihan dalam air dapat memberikan dampak yang besar pada organisme akuatik dan kesehatan manusia. Nitrit dapat mengganggu pertumbuhan dan perkembangan organisme akuatik dan menginduksi wabah penyakit bagi organisme akuatik. Keberadaan nitrit dalam air minum dapat mengubah hemoglobin menjadi methemoglobin yang dapat menyebabkan penurunan kapasitas oksigen yang dibawa oleh darah (Li *et al.*, 2019).

### 6. Surfaktan

Surfaktan adalah suatu senyawa kimia yang digunakan untuk menurunkan tegangan permukaan antara senyawa yang berbeda, seperti: antara dua cairan, antara gas dan cairan, atau cairan dan padatan. Surfaktan dikategorikan sebagai senyawa organik dan bersifat *amphiphilic*. *Amphiphilic* adalah senyawa yang mengandung gugus *hydrophobic* dan *hydrophilic*. Dalam kata lain, surfaktan memiliki komponen yang tidak larut dalam air dan komponen yang larut dalam air. Surfaktan dapat ditemukan dalam deterjen, zat pembasah, zat pembusa, dan dispersan. Surfaktan merupakan salah satu komponen penting dalam deterjen untuk menghilangkan kotoran dari pakaian, kulit, dan peralatan rumah tangga (BYJU'S, 2022). Surfaktan pada badan air dalam jumlah tertentu dapat menimbulkan busa yang dapat menutupi permukaan perairan dan menyebabkan proses difusi oksigen dari udara menjadi lambat, sehingga mengurangi

kadar oksigen terlarut (DO) dalam perairan dan mengganggu organisme akuatik (Larasati *et al.*, 2021).

#### 4.2 Pemilihan Spesies Alga untuk Fikoremediasi

Berdasarkan referensi alga yang didapatkan, dipilih jenis alga yang dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi polutan pada air sebagai berikut.

##### 1. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Menurut Moondra *et al.* (2020), alga *Chlorella vulgaris* dapat menurunkan konsentrasi *BOD* pada air limbah sebesar 71%. Selain itu, menurut Brar *et al.* (2019), alga *Chlorella pyrenoidosa* dan *Scenedesmus abundans* dapat menurunkan konsentrasi *BOD* sebesar 58% dan 52% pada air limbah.

##### 2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Menurut Moondra *et al.* (2020), alga *Chlorella vulgaris* dapat menurunkan konsentrasi *COD* pada air limbah sebesar 81%. Selain itu, menurut Brar *et al.* (2019), alga *Chlorella pyrenoidosa* dan *Scenedesmus abundans* dapat menurunkan konsentrasi *COD* sebesar 87% dan 62% pada air limbah.

##### 3. Fosfat

Menurut Moondra *et al.* (2020), alga *Chlorella vulgaris* dapat menurunkan konsentrasi fosfat pada air limbah sebesar 89%. Selain itu, menurut Brar *et al.* (2019), alga *Chlorella pyrenoidosa* dan *Scenedesmus abundans* dapat menurunkan konsentrasi fosfat sebesar 79% dan 86% pada air limbah.

##### 4. Amonium

Menurut Taufikurahman & Istiqomah (2019), alga *Chlorella vulgaris* dapat menurunkan konsentrasi amonium pada air limbah sebesar 93%. Menurut Sharma *et al.* (2021) alga *Chlorella minutissima* dapat menurunkan konsentrasi amonium pada air limbah sebesar 90%. Selain itu, menurut Haruna *et al.* (2017), alga *Chlorella sorokiniana* dapat menurunkan konsentrasi amonium sebesar 84% pada air limbah.

##### 5. Nitrit

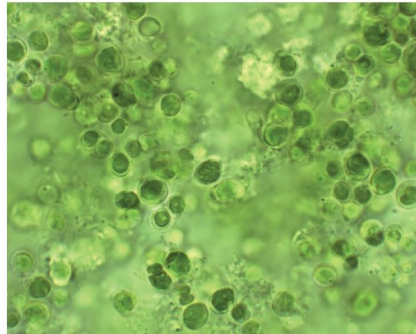
Menurut Taziki *et al.* (2015), alga *Chlorella vulgaris* dapat menurunkan konsentrasi nitrit pada air limbah sebesar 75%. Menurut Sharma *et al.* (2021) alga *Scenedesmus quadricauda* dapat menurunkan konsentrasi nitrit pada air pertanian sebesar 87%. Selain itu, menurut Haruna *et al.* (2017), alga *Stigeoclonium sp.* dapat menurunkan konsentrasi nitrit sebesar 82% pada air limbah.

##### 6. Surfaktan

Menurut Hena *et al.* (2015), alga *Chlorella vulgaris*, *Botryococcus braunii*, dan *Chlorococcum humicola* dapat menurunkan konsentrasi surfaktan pada air limbah sebesar 97%, 99%, dan 98%.

Dari data tersebut, dipilih *Chlorella vulgaris* (Gambar 4.4) sebagai alga fikoremediator untuk menurunkan konsentrasi polutan pada air dikarenakan *C. vulgaris* dapat menurunkan semua jenis polutan yang melebihi baku mutu sekaligus. Selain itu, suhu optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan *C. vulgaris* adalah 22-30 °C (Adochite & Adronic, 2020). Sedangkan suhu rata-rata Sungai Kalimas adalah 28-30 °C, sehingga *C. vulgaris* cocok untuk digunakan pada Sungai Kalimas (Sumaji, 2017). Alga *C. vulgaris* merupakan jenis alga hijau

yang tumbuh pada kedalaman air 0-6 m, sehingga *C. vulgaris* dapat hidup hingga dasar Sungai Kalimas yang memiliki kedalaman 2 m (Anitei, 2008). Kemampuan *C. vulgaris* untuk menurunkan konsentrasi tiap parameter tersaji dalam Tabel 4.3.



Gambar 4.4 *Chlorella vulgaris*  
Sumber: Brzywczyk *et al.*, 2016

Tabel 4.3 Kemampuan Alga *C. vulgaris* untuk Menurunkan Konsentrasi Polutan

Parameter	Removal (%)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Removal (mg/L)	Td (jam)	Removal konsentrasi (mg/L/jam)
BOD	71 <sup>a</sup>	157 <sup>a</sup>	111,47	8 <sup>a</sup>	13,93
COD	81 <sup>a</sup>	288 <sup>a</sup>	233,28	8 <sup>a</sup>	29,16
Fosfat	89 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	1,78	8 <sup>a</sup>	0,22
Amonium	93 <sup>b</sup>	140 <sup>b</sup>	130,2	72 <sup>b</sup>	1,80
Nitrit	75 <sup>c</sup>	700 <sup>c</sup>	525	192 <sup>c</sup>	2,73
Surfaktan	97 <sup>d</sup>	50 <sup>d</sup>	48,5	240 <sup>d</sup>	0,20

Sumber: a. Moondra *et al.*, 2020.  
b. Taufikurahman & Istiqomah, 2019.  
c. Taziki *et al.*, 2012.  
d. Hena *et al.*, 2015.

#### 4.3 Aplikasi Fikoremediasi pada Sungai Kalimas

Teknik fikoremediasi yang pilih untuk diaplikasikan pada Sungai Kalimas adalah *microbial dosing*, dikarenakan dapat diaplikasikan pada sungai yang memiliki badan air yang besar secara *in situ*. Aplikasi fikoremediasi dilakukan pada badan air Sungai Kalimas yang memiliki air bersifat tawar (dari Pintu Air Ngagel hingga PJT Kayoon) yang memiliki panjang sekitar 4,3 km. Sungai Kalimas memiliki lebar sebesar 20-35 meter dan kedalaman 1-3 meter (DLH Kota Surabaya, 2018). Selain itu, Sungai Kalimas memiliki kecepatan aliran sebesar 0,47 m/s (Sumaji, 2017). Kemudian, dapat ditentukan debit air Sungai Kalimas surabaya dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Debit air} = \text{kecepatan aliran} \times \text{luas penampang}$$

Sungai yang berada dekat dengan hilir memiliki bentuk paling lebar dan dalam mirip persegi empat, sehingga untuk menghitung luas penampangnya dapat digunakan rumus sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang} &= \text{lebar rata-rata sungai} \times \text{kedalaman rata-rata sungai} \\ &= 28 \text{ m} \times 2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 56 \text{ m}^2$$

Kemudian dapat dihitung debit air Sungai Kalimas sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Debit air} &= 0,47 \text{ m/s} \times 56 \text{ m}^2 \\ &= 26,32 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 94.752 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa debit air Sungai Kalimas yang akan diaplikasikan fikoremediasi adalah  $94.752 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Kemudian dapat ditentukan beban polutan yang ada dalam Sungai Kalimas segmen Pintu Air Ngagel hingga PJT Kayoon dengan menggunakan rumus sebagai berikut. Untuk perhitungan selengkapnya tersaji dalam Tabel 4.4.

$$\text{Beban polutan} = \text{debit air} \times \text{konsentrasi polutan}$$

Tabel 4.4 Perhitungan Beban Polutan Sungai Kalimas

Parameter	Debit air Sungai Kalimas (L/jam)	Konsentrasi rata-rata polutan (mg/L)	Beban rata-rata polutan (gram)
BOD	94.752.200	5 <sup>a</sup>	473.760
COD		30 <sup>a</sup>	2.842.560
Fosfat		0,52 <sup>a</sup>	49.271
Amonium		0,76 <sup>a</sup>	72.012
Nitrit		2,38 <sup>a</sup>	225.510
Surfaktan		0,25 <sup>a</sup>	23.688

Sumber: a. DLH Kota Surabaya, 2018.

Selanjutnya dapat dihitung kebutuhan alga *C. vulgaris*. Pada penelitian Taziki *et al.* (2015), digunakan inokulum alga sebanyak 250 mL dengan konsentrasi 5% (v/v). Sehingga volume alga yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Volume alga} &= 5 \% \times 250 \text{ mL} \\ &= 12,5 \text{ mL} \end{aligned}$$

Inokulum tersebut digunakan untuk mereduksi nitrit dengan konsentrasi 700 mg/L. Kemudian dapat dihitung beban polutan pada air limbah tersebut dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Beban polutan} &= \text{Volume air limbah} \times \text{konsentrasi nitrit} \\ &= (250 - 12,5) \text{ mL} \times 700 \text{ mg/L} \\ &= 0,16625 \text{ g} \end{aligned}$$

Kemudian dapat dihitung kebutuhan volume inokulum alga *C. vulgaris* untuk menurunkan konsentrasi fosfat dalam air dengan rumus sebagai berikut. Untuk perhitungan selengkapnya tersaji dalam Tabel 4.5.

$$\frac{\text{Beban nitrit Sungai Kalimas(g)}}{\text{Beban nitrit pada penelitian (g)}} = \frac{\text{Volume inokulum (x) (mL)}}{\text{Volume inokulum pada penelitian (mL)}}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{225.510 \text{ g}}{0,16625 \text{ g}} &= \frac{(x) \text{ mL}}{12,5 \text{ mL}} \\
 x &= \frac{225.510 \text{ g}}{0,16625 \text{ g}} \times 12,5 \text{ mL} \\
 &= 16.955.639 \text{ mL} \\
 &= 16,96 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Perhitungan Kebutuhan Volume Inokulum Alga *C. vulgaris*

Parameter	Beban rata-rata polutan (gram)	Kebutuhan volume inokulum (m <sup>3</sup> )
<i>BOD</i>	473.760	35,62
<i>COD</i>	2.842.560	213,73
Fosfat	49.271	3,70
Amonium	72.012	5,41
Nitrit	225.510	16,96
Surfaktan	23.688	1,78

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat diketahui kebutuhan volume inokulum alga *C. vulgaris* untuk melakukan remediasi Sungai Kalimas adalah 213,73 m<sup>3</sup>/jam dikarenakan parameter *COD* memiliki jumlah konsentrasi yang paling besar. Menurut Moondra *et al.* (2020), alga dapat menurunkan konsentrasi *COD* pada air sebesar 81%. Berikut adalah perhitungan *removal* konsentrasi *COD* pada air Sungai Kalimas.

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi } COD &= 30 \text{ mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)} \\
 \text{Removal} &= 81 \% \text{ (Moondra } et al., 2020) \\
 &= \text{konsentrasi awal} \times \text{removal} \\
 &= 30 \text{ mg/L} \times 81 \% \\
 &= 24,3 \text{ mg/L} \\
 \text{Baku mutu} &= 25 \text{ mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)} \\
 \text{Hasil} &= \text{konsentrasi awal} - \text{removal} \\
 &= 30 \text{ mg/L} - 24,3 \text{ mg/L} \\
 &= 5,7 \text{ mg/L (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa alga *C. vulgaris* dapat menurunkan konsentrasi *COD* pada air Sungai Kalimas sebesar 24,3 mg/L. Namun, alga tidak perlu digunakan seluruhnya dikarenakan baku mutu air kelas II menurut PP Nomor 22 Tahun 2021 untuk *COD* adalah 25 mg/L. Oleh karena itu, dosis alga yang digunakan dapat diturunkan menjadi 1/3 nya saja. Berikut adalah perhitungan *removal COD* jika digunakan 1/3 dari dosis alga awal.

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi } COD &= 30 \text{ mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)} \\
 \text{Removal} &= 81 \% \text{ (Moondra } et al., 2020) \times (1/3) \\
 &= 27 \% \\
 &= \text{konsentrasi awal} \times \text{removal} \\
 &= 30 \text{ mg/L} \times 27 \% \\
 &= 8,1 \text{ mg/L} \\
 \text{Baku mutu} &= 25 \text{ mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)} \\
 \text{Hasil} &= \text{konsentrasi awal} - \text{removal} \\
 &= 30 \text{ mg/L} - 8,1 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$= 21,9 \text{ mg/L (memenuhi)}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa 1/3 dari dosis alga *C. vulgaris* awal dapat menurunkan konsentrasi COD pada air Sungai Kalimas sebesar 8,1 mg/L dan telah memenuhi baku mutu. Maka volume inokulum alga yang digunakan dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned} \text{Volume inokulum} &= 1/3 \times 213,73 \text{ m}^3 \\ &= 71,24 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga volume inokulum alga *C. vulgaris* yang digunakan adalah 71,24 m<sup>3</sup>. Jumlah tersebut telah melebihi jumlah volume inokulum alga untuk parameter lain yang dibutuhkan untuk melakukan proses fikoremediasi pada Sungai Kalimas, sehingga jumlah tersebut dapat digunakan. Setelah itu, alga akan di injeksikan ke dalam aliran air Sungai Kalimas. Untuk titik injeksi alga ini dapat dibagi menjadi 3 titik dengan jarak antar titik kurang lebih sama agar proses fikoremediasi tersebut lebih merata. Titik yang dipilih adalah Pintu Air Ngagel, Jembatan BAT, dan Jembatan Keputran Selatan (Gambar 4.5). Jarak antara Pintu Air Ngagel dan Jembatan BAT adalah 1,46 km, jarak antara Jembatan BAT dengan Jembatan Keputran Selatan adalah 1,43 km, dan jarak antara Jembatan Keputran Selatan dengan PJT Kayoon adalah 1,41 km. Dari data tersebut dapat dihitung dosis alga pada tiap titik sampling dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Dosis } C. \text{ vulgaris} = \text{Jarak aplikasi} / \text{jarak total} \times \text{dosis total}$$

$$\begin{aligned} \text{Pintu Air Ngagel – J. BAT} &= 1,46 \text{ km} / 4,30 \text{ km} \times 71,24 \text{ m}^3 \\ &= 24,18 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

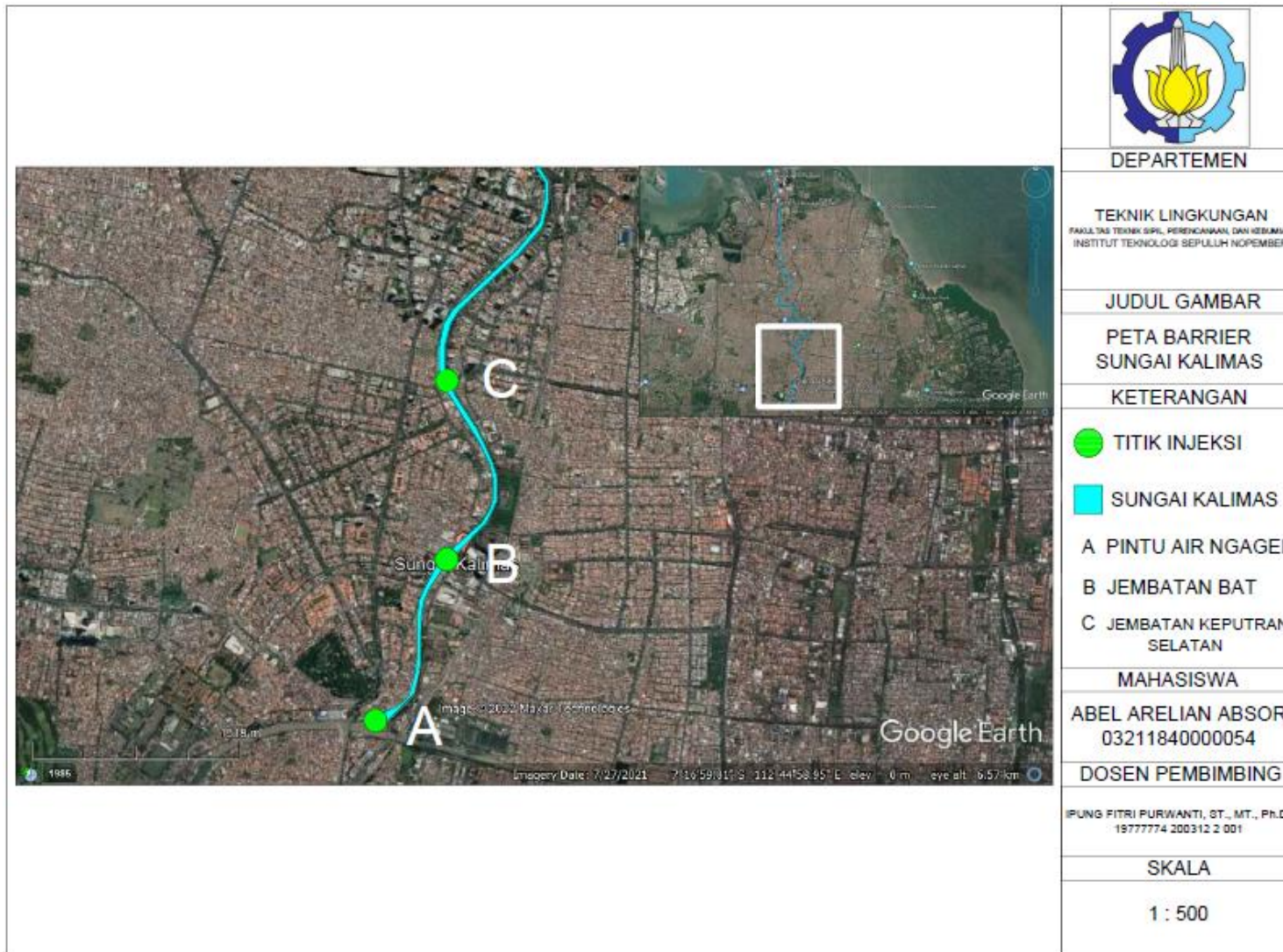
$$\begin{aligned} \text{J. BAT – J. Keputran Selatan} &= 1,43 \text{ km} / 4,30 \text{ km} \times 71,24 \text{ m}^3 \\ &= 23,69 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{J. Keputran Selatan – PJT Kayoon} &= 1,41 \text{ km} / 4,30 \text{ km} \times 71,24 \text{ m}^3 \\ &= 23,36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Menurut Sumaji (2017), Sungai Kalimas memiliki kecepatan aliran 0,47 m<sup>3</sup>/s. Rata-rata jarak antara titik injeksi alga *C. vulgaris* adalah 1,43 km. Kemudian dapat dihitung waktu yang dibutuhkan oleh aliran air dari suatu titik untuk mencapai titik berikutnya dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang dibutuhkan} &= \text{jarak rata-rata antar titik} / \text{kecepatan aliran} \\ &= 1.430 \text{ m} / 0,47 \text{ m/s} \\ &= 3.042,55 \text{ s} \\ &= 50,7 \text{ menit} \end{aligned}$$

Aliran air sungai merupakan aliran air kontinyu. Air mengalir dari titik injeksi A (Pintu Air Ngagel) hingga titik injeksi B (Jembatan BAT) membutuhkan waktu 50,7 menit dan 50,7 menit lagi untuk mencapai titik injeksi C (Jembatan Keputran Selatan). Setelah mencapai titik injeksi C, air yang berada dalam titik injeksi A dan B adalah air baru yang belum di fikoremediasi sehingga perlu ditambahkan alga kembali. Oleh karena itu injeksi alga dilakukan setiap 101,4 menit sekali.



Gambar 4.5 Peta Injeksi Alga pada Sungai Kalimas  
 Sumber: <https://goo.gl/maps/Z1cdKtnwEp8nJL3J9>

Setelah itu, dapat dihitung konsentrasi akhir polutan pada badan air Sungai Kalimas setelah dilakukan fikoremediasi sebagai berikut.

#### 1. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Konsentrasi awal	= 5 mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)
Removal	= 71 % (Moondra <i>et al.</i> , 2020)
	= konsentrasi awal x removal
	= 5 mg/L x 71 %
	= 3,55 mg/L
Baku mutu	= 3 mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)
Hasil	= konsentrasi awal - removal
	= 5 mg/L – 3,55 mg/L
	= 1,45 mg/L (memenuhi)

#### 2. Chemical Oxygen Demand (COD)

Konsentrasi awal	= 30 mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)
Removal	= 81 % (Moondra <i>et al.</i> , 2020) x (1/3)
	= konsentrasi awal x removal
	= 30 mg/L x 27 %
	= 8,1 mg/L
Baku mutu	= 25 mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)
Hasil	= konsentrasi awal - removal
	= 30 mg/L – 8,1 mg/L
	= 21,9 mg/L (memenuhi)

#### 3. Fosfat

Konsentrasi awal	= 0,52 mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)
Removal	= 89 % (Moondra <i>et al.</i> , 2020)
	= konsentrasi awal x removal
	= 0,52 mg/L x 89 %
	= 0,46 mg/L
Baku mutu	= 0,2 mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)
Hasil	= konsentrasi awal - removal
	= 0,52 mg/L – 0,46 mg/L
	= 0,06 mg/L (memenuhi)

#### 4. Amonium

Konsentrasi awal	= 0,76 mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)
Removal	= 93 % (Taufikurahman & Istiqomah, 2019)
	= konsentrasi awal x removal
	= 0,76 mg/L x 93 %
	= 0,71 mg/L
Baku mutu	= 0,2 mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)
Hasil	= konsentrasi awal - removal
	= 0,76 mg/L – 0,71 mg/L
	= 0,05 mg/L (memenuhi)

#### 5. Nitrit

Konsentrasi awal	= 2,38 mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)
------------------	---------------------------------------



Removal	= 75 % (Tazaki <i>et al.</i> , 2015)
	= konsentrasi awal x removal
	= 2,38 mg/L x 75 %
	= 1,78 mg/L
Baku mutu	= 0,06 mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)
Hasil	= konsentrasi awal - removal
	= 2,38 mg/L – 1,78 mg/L
	= 0,6 mg/L (tidak memenuhi)

Namun jumlah alga *C. vulgaris* yang digunakan adalah 71,24 m<sup>3</sup>, sedangkan alga *C. vulgaris* yang dibutuhkan untuk menurunkan konsentrasi nitrit yang berjumlah 16,96 m<sup>3</sup> (Tabel 4.5). Menurut Tazaki *et al.* (2015), alga *C. vulgaris* dapat menurunkan konsentrasi nitrit sebesar 2,73 mg/L tiap jam (Tabel 4.3). Sehingga dapat dihitung *removal* nitrit pada air Sungai Kalimas dengan jumlah tersebut sebagai berikut.

Waktu kontak (td)	= 50,7 menit
Removal nitrit/jam	= 2,73 mg/L/jam (Tazaki <i>et al.</i> , 2015)
	= 50,7 menit / 60 menit x 2,73 mg/L
	= 2,30 mg/L
Alga yang dibutuhkan	= 16,96 m <sup>3</sup>
Alga yang digunakan	= 71,24 m <sup>3</sup>
	= 71,24 / 16,94 m <sup>3</sup>
	= 4,2 kali lipat lebih banyak
Removal nitrit	= 4,2 x 2,30 mg/L
	= 9,66 mg/L
Konsentrasi awal	= 2,38 mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)
Baku mutu	= 0,06 mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)
Hasil	= konsentrasi awal - removal
	= 2,38 mg/L – 9,66 mg/L
	= 0 mg/L (memenuhi)

#### 6. Surfaktan

Konsentrasi awal	= 0,25 mg/L (DLH Kota Surabaya, 2018)
Removal	= 50 % (Hena <i>et al.</i> , 2015)
	= konsentrasi awal x removal
	= 0,25 mg/L x 50 %
	= 0,125 mg/L
Baku mutu	= 0,2 mg/L (PP Nomor 22 Tahun 2021)
Hasil	= konsentrasi awal - removal
	= 0,25 mg/L – 0,125 mg/L
	= 0,125 mg/L (memenuhi)

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa kualitas air Sungai Kalimas setelah dilakukan proses fikoremediasi telah memenuhi standar baku mutu sesuai PPRI Nomor 22 Tahun 2021. Terdapat batasan dalam melakukan fikoremediasi pada Sungai Kalimas ini, yaitu potensi *overpopulation* alga, untuk mengatasi batasan tersebut alga harus di panen. Untuk memudahkan pemanenan, dapat digunakan semacam *barrier* untuk menahan alga tersebut. *Barrier* yang digunakan adalah *oil barrier* (Gambar 4.6 dan Gambar 4.7). *Barrier* ini memiliki ketinggian 1.020 mm dengan *freeboard* sebesar 320 mm dan terdiri dari membran PVC tertutup

dengan pelampung bawaan (AQWATT, 2020). *Barrier* diletakkan secara melintang sepanjang lebar sungai agar dapat menahan alga sepenuhnya. *Barrier* ini diletakkan pada akhir bagian Sungai Kalimas yang akan dilakukan proses fikoremediasi yaitu pada PJT Kayoon (Gambar 4.8). Untuk gambar aplikasi fikoremediasi pada Sungai Kalimas selengkapnya tersaji dalam Gambar 4.9.



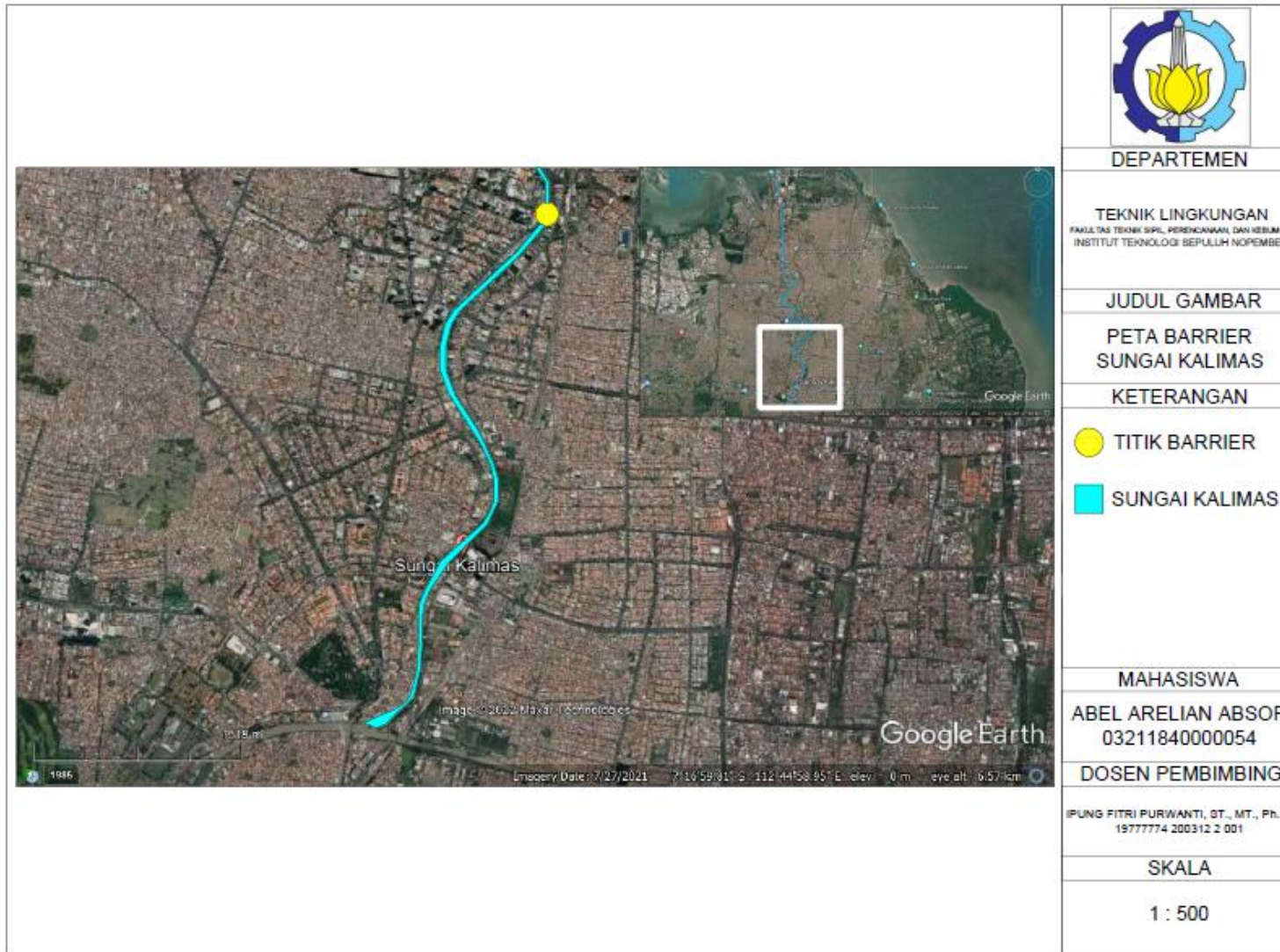
Gambar 4.6 *Oil Barrier* (a)

Sumber: <https://www.aqwatt.com/en/cases/70-oil-containment-boom-to-counteract-blue-green-algae>

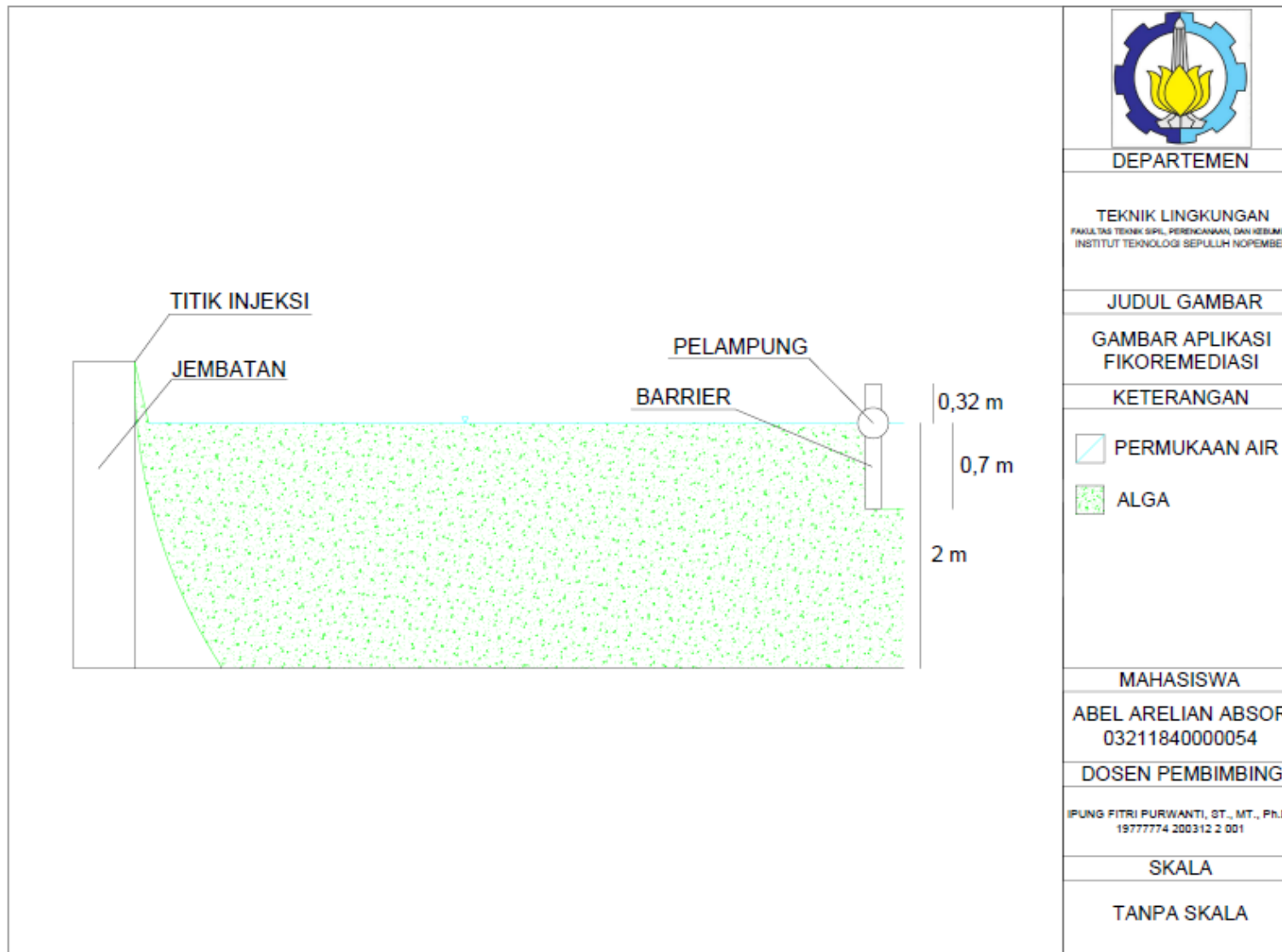


Gambar 4.7 *Oil Barrier* (b)

Sumber: <https://www.bolinabooms.com/news/oil-barrier-esfb-from-ecocoast-against-blue-green-algae/>



Gambar 4.8 Peta Peletakan *Barrier* pada Sungai Kalimas  
 Sumber: <https://goo.gl/maps/Z1cdKtnwEp8nJL3J9>



Gambar 4.9 Aplikasi Fikoremediasi pada Sungai

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Sungai Kalimas termasuk dalam sungai kelas II. Terdapat beberapa parameter air dalam Sungai Kalimas yang tidak memenuhi baku mutu air kelas II sesuai PPRI no 22 tahun 2021, yaitu: *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, fosfat, amonium, nitrit, dan surfaktan. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan metode fikoremediasi. *Chlorella vulgaris* adalah spesies alga yang cocok untuk digunakan pada Sungai Kalimas dikarenakan suhu optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan *C. vulgaris* sama dengan suhu rata-rata Sungai Kalimas, serta dapat menurunkan konsentrasi 6 parameter yang melebihi baku mutu tersebut.

Teknik fikoremediasi yang digunakan pada Sungai Kalimas adalah *microbial dosing*. Untuk mereduksi 6 jenis parameter tersebut dibutuhkan volume inokulum alga *C. vulgaris* sebanyak 71,24 m<sup>3</sup>. Alga harus ditambahkan kembali setiap 101,4 menit. Titik injeksi alga dibagi menjadi 3 titik, yaitu: Pintu Air Ngagel, Jembatan BAT, dan Jembatan Keputran Selatan. Kualitas air Sungai Kalimas setelah dilakukan fikoremediasi telah memenuhi baku mutu sesuai PP Nomor 22 Tahun 2021. Terdapat batasan dalam melakukan fikoremediasi pada Sungai Kalimas ini, yaitu potensi *overpopulation* alga. Untuk mengatasi batasan tersebut, alga harus dipanen. Untuk memudahkan pemanenan alga, dapat digunakan *oil barrier* untuk menahan alga tersebut. *Oil barrier* tersebut diletakkan pada akhir bagian Sungai Kalimas yang akan dilakukan proses fikoremediasi yaitu pada PJT Kayoon.

#### **5.2 Saran**

Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai fikoremediasi Sungai Kalimas ini untuk memantau kondisi alga dan kualitas air dalam jangka panjang.

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. (2012). *Microalgae and Wastewater Treatment*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257-275. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>.
- Adochite, C., & Andronic, L. (2020). *Aquatic Toxicity of Photocatalyst Nanoparticles to Green Microalgae Chlorella vulgaris*. *Water*, 13(1), 77. <https://doi.org/10.3390/w13010077>.
- Agustiningsih, D., Sasongko, S. B., & Sudarno. (2012). Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 9(2), 64-71. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v9i2.64-71>.
- Algotherm. (2017). *Scenedesmus obliquus*. Diakses dari <https://algotherm.lv/en/seaweed/scenedesmus-obliquus-en/>.
- Amuzigi. (2018). Pola Aliran Dendritik dan Karakteristiknya. Diakses dari <https://www.amuzigi.com/2018/04/pola-aliran-dendritik-dan-karakteristiknya.html>.
- Anitei, Stefan. (2008). *Algae and Light*. Diakses dari <https://news.softpedia.com/news/Algae-and-Light-84543.shtml>.
- Apriyani, N. (2017). Penurunan Kadar Surfaktan dan Sulfat dalam Limbah Laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 2(1), 37-44.
- AQWATT. (2020). *Oil Containment Boom to Counteract Blue-green Algae*. Diakses dari <https://www.aqwatt.com/en/cases/70-oil-containment-boom-to-counteract-blue-green-algae>.
- Ardhani, D. C. (2014). Pengelolaan Sungai Batanghari Kabupaten Dharmasraya Berdasarkan Daya Tampung Beban Pencemaran dengan Metode QUAL2Kw. (*Master thesis*, Universitas Diponegoro).
- Ateia, M., Yoshimura, C., & Nasr, M. (2016). In-situ Biological Water Treatment Technologies for Environmental Remediation: a Review. *J Bioremed Biodeg*, 7(348), 2.
- Aziz, N., Fatma, T., Varma, A., & Prasad, R. (2014). *Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles Using Scenedesmus abundans and Evaluation of Their Antibacterial Activity*. *Journal of Nanoparticles*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/689419>.
- Bolina Booms. (2022). *Oil Barrier ESFB from Eastcoast Against Blue-green Algae*. Diakses dari <https://www.bolinabooms.com/news/oil-barrier-esfb-from-ecocoast-against-blue-green-algae/>.
- Brar, A., Kumar, M., & Pareek, N. (2019). *Comparative Appraisal of Biomass Production, Remediation, and Bioenergy Generation Potential of Microalgae in Dairy Wastewater*. *Frontiers in Microbiology*, 10, 678. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00678>.

- Brzychczyk, B., Kowalczyk, Z., & Gielżecki, J. (2016). *Evaluation of Usefulness of the Designed Laboratory Photobioreactor for Microalgae Cultivation in Controlled Conditions*. *Agricultural Engineering*, 20. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2016-0002>.
- BYJU'S. (2022). *Surfactants*. Diakses dari <https://byjus.com/jee/surfactants/>.
- Chader, S., Mahmah, B., Chetehouna, K., & Mignolet, E. (2011). *Biodiesel Production Using Chlorella Sorokiniana a Green Microalga*. *Journal of Renewable Energies*, 14(1), 21-26. <https://doi.org/10.54966/jreen.v14i1.238>.
- Choi, H. J., & Lee, S. M. (2012). *Effects of Microalgae on the Removal of Nutrients from Wastewater: Various Concentrations of Chlorella vulgaris*. *Environmental Engineering Research*, 17(S1), 3-8. <https://doi.org/10.4491/eer.2012.17.S1.S3>.
- de Alva, M. S., Luna-Pabello, V. M., Cadena, E., & Ortiz, E. (2013). *Green Microalga Scenedesmus acutus Grown on Municipal Wastewater to Couple Nutrient Removal with Lipid Accumulation for Biodiesel Production*. *Bioresource Technology*, 146, 744-748. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.061>.
- Demirbas, A., & Demirbas, M. F. (2010). *Algae Energy: Algae as a New Source of Biodiesel*. Springer Science & Business Media.
- Departement Experimental Phycology and Culture Collection of Algae. (2022). SAG 202-7d *Monoraphidium braunii*. Diakses dari [https://sagdb.uni-goettingen.de/detailedList.php?str\\_number=202-7d](https://sagdb.uni-goettingen.de/detailedList.php?str_number=202-7d).
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya. (2018). Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (RPPLH): Daya Dukung Daya Tampung Sumber Daya Air Kota Surabaya. Pemerintah Kota Surabaya.
- Duan, Y., Guo, X., Yang, J., Zhang, M., & Li, Y. (2020). *Nutrients Recycle and the Growth of Scenedesmus obliquus in Synthetic Wastewater Under Different Sodium Carbonate Concentrations*. *Royal Society Open Science*, 7(1), 191214. <https://doi.org/10.1098/rsos.191214>.
- Dubey, K. K., Kumar, S., Dixit, D., Kumar, P., Kumar, D., Jawed, A., & Haque, S. (2015). *Implication of Industrial Waste for Biomass and Lipid Production in Chlorella minutissima Under Autotrophic, Heterotrophic, and Mixotrophic Grown Conditions*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 176(6), 1581-1595. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1663-6>.
- Environmental Protection Agency. (2012). 5.2 *Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand*. Diakses dari <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms52.html>.
- Fresh Water Algae Culture Collection of the Institute of Hydrobiology. (2013). *Stigeoclonium sp.* Diakses dari <http://algae.ihb.ac.cn/english/algaeDetail.aspx?id=53>.
- Google Maps. (2022). Sungai Kalimas. Diakses dari <https://goo.gl/maps/Z1cdKtnwEp8nJL3J9>.



- Hakim, L. (2016). Pengolahan Limbah Laundry dengan Menggunakan Tanaman Kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*). (Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Haruna, S., Mohamad, S. E., & Jamaluddin, H. (2017). *Potential of Treating Unsterilized Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Freshwater Microalgae*. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 14(2), 221-225.
- Hena, S., Abida, N., & Tabassum, S. (2015). *Screening of Facultative Strains of High Lipid Producing Microalgae for Treating Surfactant Mediated Municipal Wastewater*. *RSC Advances*, 5(120), 98805-98813. <https://doi.org/10.1039/C5RA20019A>.
- Holbrook, G. P., Davidson, Z., Tatar, R. A., Ziemer, N. L., Rosentrater, K. A., & Grayburn, W. S. (2014). *Use of the Microalga Monoraphidium sp. Grown in Wastewater As a Feedstock for Biodiesel: Cultivation and Fuel Characteristics*. *Applied Energy*, 131, 386-393. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.043>.
- Integrated Taxonomic Information System*. (2022). Diakses dari <https://itis.gov/>.
- Jaiswal, K. K., & Prasath, A. R. (2016). *Integrated Growth Potential of Chlorella pyrenoidosa Using Hostel Mess Wastewater and its Biochemical Analysis*. *International Journal of Environmental Sciences*, 6(5), 592-599. <http://dx.doi.org/10.6088/ijes.6055>.
- John, E. M., Sureshkumar, S., Sankar, T. V., & Divya, K. R. (2020). *Phycoremediation in Aquaculture; A Win-Win Paradigm*. *Environmental Technology Reviews*, 9(1), 67-84. <https://doi.org/10.1080/21622515.2020.1830185>.
- Jose, S., & Archanaa, S. (2019). *Phycoremediation of Textile Wastewater: Possibilities and Constraints*. In *Application of Microalgae in Wastewater Treatment* (pp. 291-319). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-13913-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-13913-1_14).
- Junaidi, F. F. (2014). Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Sungai Musi (Ruas Jembatan Ampera sampai dengan Pulau Kemaro). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(1), 542-552.
- Khoirudin, N. A. (2019). Pengaruh Variasi Kombinasi Pemasangan Check Dam Stones dan Bronjong pada Belokan Sungai Menggunakan Uji Model Laboratorium. (Undergraduate thesis, Universitas Negeri Yogyakarta).
- Koul, B., Sharma, K., & Shah, M. P. (2022). *Phycoremediation: A Sustainable Alternative in Wastewater Treatment (WWT) Regime*. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102040. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102040>.
- Krishna, A. R., Dev, L., & Thankamani, V. (2012). *An Integrated Process for Industrial Effluent Treatment and Biodiesel Production using Microalgae*. *Research in Biotechnology*, 3(1).

- Kurnianto, A. (2019). Analisis Kualitas Air Sungai Kalimas Kota Surabaya Menggunakan Metode Indeks Pencemaran. (*Undergraduate thesis*, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel).
- Kusuma, F. I. (2014). Karakteristik Kualitas Air Sungai Winongo DAS Opak Setelah Melewati Kawasan Perkotaan Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2012-2014. (*Undergraduate thesis*, Universitas Gadjah Mada).
- Larasati, N. N., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., Zainuri, M., & Kunarso, K. (2021). Kandungan Pencemar Detejen dan Kualitas Air di Perairan Muara Sungai Tapak, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), 1-13. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i1.9470>.
- Li, D., Wang, T., Li, Z., Xu, X., Wang, C., & Duan, Y. (2019). Application of Graphene-Based Materials for Detection of Nitrate and Nitrite in Water—A Review. *Sensors*, 20(1), 54. <https://doi.org/10.3390/s20010054>.
- Maghfiroh, L. (2016). Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Kalimas Surabaya (Segmen Taman Prestasi-Jembatan Petekan) dengan Pemodelan QUAL2Kw. (*Undergraduate thesis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Mahyudin, M., Soemarno, S., & Prayogo, T. B. (2015). Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. *Indonesian Journal of Environment and Sustainable Development*, 6(2), 105-114.
- Megapixl. (2022). *Stock Photo: Freshwater Algae (Spirogyra neglecta)*. Diakses dari <https://www.megapixl.com/freshwater-algae-spirogyra-neglecta-stock-photo-44012688>.
- Mehariya, S., Goswami, R. K., Verma, P., Lavecchia, R., & Zuurro, A. (2021). Integrated Approach for Wastewater Treatment and Biofuel Production in Microalgae Biorefineries. *Energies*, 14(8), 2282. <https://doi.org/10.3390/en14082282>.
- Moondra, N., Jariwala, N. D., & Christian, R. A. (2020). Microalgal-Bacterial Consortia: An Alluring and Novel Approach for Domestic Wastewater Treatment. *WCM*, 4, 51-56. <http://doi.org/10.26480/wcm.01.2020.51.56>.
- Moondra, N., Jariwala, N. D., & Christian, R. A. (2021). Integrated Approach of Phycoremediation in wastewater treatment: An insight. *Water Conservation and Management*, 5(1), 8-12. <http://doi.org/10.26480/wcm.01.2021.08.12>.
- Mourão, M. M., Gradíssimo, D. G., Santos, A. V., Schneider, M. P. C., Faustino, S. M. M., Vasconcelos, V., & Xavier, L. P. (2020). Optimization of Polyhydroxybutyrate Production by Amazonian Microalga *Stigeoclonium* sp. B23. *Biomolecules*, 10(12), 1628. <https://doi.org/10.3390/biom10121628>.
- OCP. (2022). *What is phosphate*. Diakses dari <https://www.ocpgroup.ma/what-is-phosphate>.

- Ontawong, A., Srimaroeng, C., Boonphang, O., Phatsara, M., Amornlerdpison, D., & Duangjai, A. (2019). *Spirogyra neglecta* Aqueous Extract Attenuates LPS-Induced Renal Inflammation. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 42(11), 1814-1822. <https://doi.org/10.1248/bpb.b19-00199>.
- Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Surabaya Tahun 2014-2034.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai.
- Protist Information Server*. (2018). *Scenedesmus abundans*. Diakses dari <http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus/abundans/abundans9.html>.
- Protist Information Server*. (2018). *Scenedesmus acutus*. Diakses dari [http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus/acutus/sp\\_01.html](http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/chlorophyta/scenedesmus/acutus/sp_01.html).
- Protist Information Server*. (2018). *Scenedesmus quadricauda*. Diakses dari <http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Chlorophyta/Scenedesmus/quadricauda/quadricauda10c.html>.
- Pureza Nature*. (2022). *Scenedesmus rubescens*. Diakses dari <https://purezanature.com/scenedesmus-rubescens>.
- Putra, A. S. (2014). Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Sungai Musi (Ruas Sungai: Pulau Kemaro Sampai dengan Muara Sungai Komering). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(3), 603-608.
- Putri, N. D. (2011). Kebijakan Pemerintah dalam Pengendalian Pencemaran Air Sungai Siak (Studi pada Daerah Aliran Sungai Siak Bagian Hilir). *Jurnal Ilmu Politik dan Ilmu Pemerintahan*, 1(1), 68-79.
- Rahayu, S., & Tontowi. (2009). Penelitian Kualitas Air Bengawan Solo pada saat Musim Kemarau. *Jurnal sumber daya air*, 5(2), 127-136. <https://doi.org/10.32679/jsda.v5i2.472>.
- Raissa, D. G. (2017). Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah *Laundry* dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) (*Undergraduate thesis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Ramadhan, Perdana. (2022). Warga Asahan Terserang Gatal-gatal Gegara Air Sungai Diduga Tercemar. Diakses dari <https://news.detik.com/berita/d-5896734/warga-asahan-terserang-gatal-gatal-gegara-air-sungai-diduga-tercemar>.

- Ramaraj, R., Kawaree, R., & Unpaprom, Y. (2016). *Direct Transesterification of Microalga Botryococcus braunii Biomass for Biodiesel Production*. *Emergent Life Sciences Research*, 2, 1-7.
- Razak, S. B. A., & Sharip, Z. (2020). *The Potential of Phycoremediation in Controlling Eutrophication in Tropical Lake and Reservoir: A Review*. *Desalination Water Treat*, 180, 164-173.
- Salbitani, G., & Carfagna, S. (2021). *Ammonium Utilization in Microalgae: A Sustainable Method for Wastewater Treatment*. *Sustainability*, 13(2), 956. <https://doi.org/10.3390/su13020956>.
- Santhoshkumar, K., Prasanthkumar, S., & JG, R. (2016). *Chlorococcum humicola (Nageli) Rabenhorst as a Renewable Source of Bioproducts and Biofuel*. *Journal of Plant Studies*; Vol, 5(1). <http://dx.doi.org/10.5539/jps.v5n1p48>.
- Saputro, B. R., Kusdiyantini, E., & Kusumaningrum, H. P. (2015). *Pertumbuhan Mikroalga Botryococcus braunii sebagai Penghasil Lipid pada Medium Campuran antara Air Kelapa dan Air Laut*. *Jurnal Akademika Biologi*, 4(4), 20-27.
- Sari, K., Soeprbowati, T. R., & Hariyati, R. (2014). *Phycoremediation of Wastewater from a Plastic Manufacturing Industry with Chlorella pyrenoidosa H. Chick in Laboratory Study*. *Waste Technology*, 2(1), 13-16. <https://doi.org/10.14710/2.1.13-16>.
- Setiawan, B. (2015). *Apa Itu Pencemaran Air dan Sumber Penyebabnya*. Diakses dari <https://ilmulingkungan.com/apa-itu-pencemaran-air-dan-sumber-penyebabnya/>.
- Shackira, A. M., Sarath, N. G., & Puthur, J. T. (2022). *Phycoremediation: a Means for Restoration of Water Contamination*. *Environmental Sustainability*, 5, 25-38. <https://doi.org/10.1007/s42398-022-00220-1>.
- Sharma, A. K., Sharma, A., Singh, Y., & Chen, W. H. (2021). *Production of a Sustainable Fuel from Microalgae Chlorella minutissima Grown in a 1500 L Open Raceway Ponds*. *Biomass and Bioenergy*, 149, 106073. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106073>.
- Sharma, G. K., Khan, S. A., Shrivastava, M., Bhattacharyya, R., Sharma, A., Gupta, D. K., Kishore, P., & Gupta, N. (2021). *Circular Economy Fertilization: Phycoremediated Algal Biomass as Biofertilizers for Sustainable Crop Production*. *Journal of Environmental Management*, 287, 112295. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112295>.
- Sheng, Y., Chen, F., Sheng, G., & Fu, J. (2012). *Water Quality Remediation in a Heavily Polluted Tidal River in Guangzhou, South China*. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 15(2), 219-226. <https://doi.org/10.1080/14634988.2012.687674>.
- Singh, S. K., Bansal, A., Jha, M. K., & Dey, A. (2011). *Comparative Studies on Uptake of Wastewater Nutrients by Immobilized Cells of Chlorella minutissima and Dairy Waste Isolated Algae*. *Indian Chemical Engineer*, 53(4), 211-219. <https://doi.org/10.1080/00194506.2011.706441>.

- Spanner, C., Darienko, T., Biehler, T., Sonntag, B., & Pröschold, T. (2020). *Endosymbiotic Green Algae in Paramecium Bursaria: A New Isolation Method and a Simple Diagnostic PCR Approach for the Identification*. *Diversity*, 12(6), 240. <https://doi.org/10.3390/d12060240>.
- Sumaji, R. A. (2017). Penentuan Status Mutu Air Sungai Kalimas dengan Metode Storet dan Indeks Pencemaran. (*Undergraduate thesis*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Tanjung, R. H., Maury, H. K., & Suwito, S. (2016). Pemantauan Kualitas Air Sungai Digoel, Distrik Jair, Kabupaten Boven Digoel, Papua. *Jurnal Biologi Papua*, 8(1), 38-47.
- Taufikurahman, T., & Istiqomah, I. N. (2019). *Phycoremediation of Anaerobic Digested Dairy Manure Wastewater Using Chlorella vulgaris*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 299(1), 012013. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/299/1/012013>.
- Taziki, M., Ahmadzadeh, H., & Murry, M. A. (2015). *Growth of Chlorella vulgaris in High Concentrations of Nitrate and Nitrite for Wastewater Treatment*. *Current Biotechnology*, 4(4), 441-447.
- Tripadvisor. (2022). Sungai Kalimas. Diakses dari [https://www.tripadvisor.co.id/LocationPhotoDirectLink-g297715-d4350879-i158741313-Kalimas\\_River-Surabaya\\_East\\_Java\\_Java.html](https://www.tripadvisor.co.id/LocationPhotoDirectLink-g297715-d4350879-i158741313-Kalimas_River-Surabaya_East_Java_Java.html).
- Wang, J., Wang, J., Li, W., Luo, G., Yang, S., Du, Y., ... & Li, X. (2019). *Photosynthetic Response of Scenedesmus quadricauda to Carbon Ions Irradiation*. *Acta Astronautica*, 159, 27-32. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.12.013>.
- Water Science School. (2018). *Biological Oxygen Demand (BOD) and Water*. Diakses dari <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/biological-oxygen-demand-bod-and-water>.
- Wirth, R., Pap, B., Böjti, T., Shetty, P., Lakatos, G., Bagi, Z., Kovacs, K. L., & Maróti, G. (2020). *Chlorella vulgaris and its Phycosphere in Wastewater: Microalgae-Bacteria Interactions During Nutrient Removal*. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 1108. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.557572>.
- Zhang, Q., Li, X., Guo, D., Ye, T., Xiong, M., Zhu, L., ... & Hu, Z. (2018). *Operation of a Vertical Algal Biofilm Enhanced Raceway Pond for Nutrient Removal and Microalgae-based Byproducts Production under Different Wastewater Loadings*. *Bioresour. Technol.*, 253, 323-332. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.014>.
- Zhu, Q., Zhang, M., Liu, B., Wen, F., Yang, Z., & Liu, J. (2021). *Transcriptome and Metabolome Profiling of a Novel Isolate Chlorella sorokiniana G32 (Chlorophyta) Displaying Enhanced Starch Accumulation at High Growth Rate Under Mixotrophic Condition*. *Frontiers in Microbiology*, 12, 760307-760307. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.760307>.

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## BIOGRAFI PENULIS



**Abel Arelian Absor** adalah nama lengkap dari penulis Tugas Akhir ini. Penulis dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 28 September 2000. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD Muhammadiyah 4 Surabaya, dilanjutkan ke SMP Negeri 1 Surabaya, kemudian SMA 5 Surabaya, dan saat ini menempuh masa kuliah di S1 Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan (FTSPK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis juga aktif di dunia organisasi dan olahraga semasa kuliah. Dalam organisasi lingkup mahasiswa, penulis pernah menjadi Kepala Sie Perlengkapan Environation ITS 2020 dan Kepala Bidang Seni Divisi Seni dan Olahraga Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS. Penulis juga aktif mengikuti berbagai lomba di bidang olahraga, contohnya badminton dan basket. Berbagai pelatihan pernah ditempuh oleh penulis sebagai bentuk pengembangan diri sebagai mahasiswa, contohnya Pelatihan SMK3L Berbasis ISO 14001:2015 & ISO 45001:2018. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi mengenai fikoremediasi air sungai. Penulis dapat dihubungi via email [abelarelianabsor@gmail.com](mailto:abelarelianabsor@gmail.com).







PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02  
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 11 Juli 2022  
Pukul : 16.00-17.15 WIB  
Lokasi : TL-105  
Judul : Kajian Fikoremediasi untuk Remediasi Air Sungai

Nilai TOEFL 523

Nama : Abel Arelian Absor  
NRP. : 03211840000054  
Topik : Studi Literatur

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1	Gambar 'reaktor' ✓/ menenmpatkan alga di sungai spt apa.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.





PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 11 Juli 2022  
Pukul : 16.00-17.15 WIB  
Lokasi : TL-105  
Judul : Kajian Fikoremediasi untuk Remediasi Air Sungai

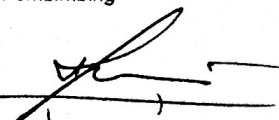
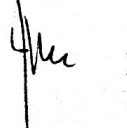
Nama : Abel Arelian Absor  
NRP. : 0321184000054  
Topik : Studi Literatur

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
	<p>Fikoremediasi: apakah perannya ter- ceras? ? Fungsi alga d. permukaan air? ?</p>

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES.

Dosen Pembimbing Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

(  )  
(  )





UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 11 Juli 2022  
Pukul : 16.00-17.15 WIB  
Lokasi : TL-105  
Judul : Kajian Fikoremediasi untuk Remediasi Air Sungai

Nama : Abel Arelian Absor  
NRP. : 03211840000054  
Topik : Studi Literatur

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
	<ul style="list-style-type: none"><li>- lihat catatan dalam draft laporan</li><li>- Bagaimana memastikan bahwa volume algae yg dikulturasikan memang berlebihan krm. reproduksi ???</li><li>- Bagaimana bentuk desain inokulasi algae di Sungai → perlu dijelaskan / dibahas di laporan TA</li><li>- apakah oil barrier → hanya di permukaan air → bagaimana jika algae berada di bagian bawah barrier? → berapa ketebalan algae di Sungai? → apakah ada faktor penghambat?</li></ul>

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D. ( *ditanda* )

Dosen Pembimbing Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D. ( )

→ waktu kontak algae dg pencemar? → berpengaruh?  
→ tidak ada debit & arus sungai?  
→ mengapa yg paling cocok microbial dosing?





UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Senin, 11 Juli 2022  
Pukul : 16.00-17.15 WIB  
Lokasi : TL-105  
Judul : Kajian Fikoremediasi untuk Remediasi Air Sungai

Nama : Abel Arelian Absor  
NRP. : 03211840000054  
Topik : Studi Literatur

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Kajian kualitas; bagaimana, mengapa?
2	Bagaimana menerapkan Fiko pada air yg mengalir
3	hal 38 → brch bagaimana jalan kontinyu
4	Bagaimana mengukur debit sungai?
5	Analisisanya curvy
6	tujuan 1, 2 kelas tersebut diseminasi
7	Perhitungannya hal 38, 39 diperbaiki

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

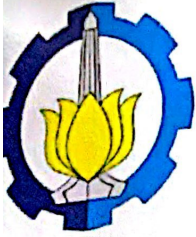
(  )

Dosen Pembimbing Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

(  )







**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

nama  
IRP  
judul

: Abel Arelian Absor  
: 0321184000054  
: Kajian Fikoremediasi untuk Remediasi Air Sungai

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	22/12/2021	Persiapan dan penentuan topik Tugas Akhir (online)	
2	03/01/2022	Penentuan judul Tugas Akhir (online)	
3	17/01/2022	Menampilkan pengerjaan proposal (online)	
4	09/02/2022	Melakukan diskusi berdasarkan arahan dosen pengarah (online)	
5	29/03/2022	Asistensi progres (online)	
6	04/05/2022	Pengiriman draft laporan dan pengecekan kelengkapan penulisan (online)	
7	08/06/2022	Diskusi sesuai arahan dosen pengarah pada seminar kemajuan (offline)	
8	19/06/2022	Pengecekan pengerjaan laporan (online)	
9	22/07/2022	Asistensi terkait revisi Tugas Akhir	

Surabaya, 27 Juni 2022  
Dosen Pembimbing

Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

