

**FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT
DI PT. BEURATA SUBUR PERSADA DENGAN
MENGUNAKAN TANAMAN LAWI LAWI
(*Caulerpa recemosa*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh :

**Silma Rahma Atiqah
NIM. 180702028
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M/1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DI PT. BEURATA
SUBUR PERSADA MENGGUNAKAN TANAMAN LAWI-LAWI (*Caulerpa
recemosa*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan oleh:

SILMA RAHMA ATIQAH

NIM. 180702028

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Ilham Zulfahmi, M.Si
NIDN. 1316078801


Husnawati Yahya, M.Sc
NIDN. 2009118301

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh


Husnawati Yahya, M.Sc
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
FITOREMEDIASI LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DI PT.
BEURATA SUBUR PERSADA MENGGUNAKAN TANAMAN
LAWI-LAWI (*Caulerpa recemosa*)

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Rabu, 28 Desember 2022
4 Jumadil Akhir 1444 H

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

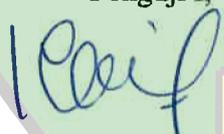
Ketua,


Ilham Zulfahmi, M.Si
NIDN. 1316078801

Sekretaris,


Husnawati Yahya, M.Sc
NIDN. 2009118301

Penguji I,

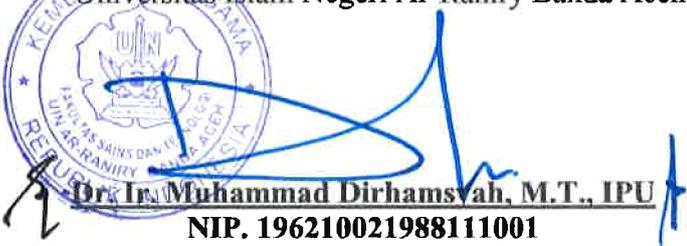

Dr. Ir. Hj. Irhamni, ST., M.T, IPM
NIDN. 2009118301

Penguji II,


M. Faisi Ikhwal, M. Eng
NIDN. 2008109101

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh


Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Silma Rahma Atiqah
NIM : 180702028
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul : Fitoremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit PT. Beurata Subur Persada Menggunakan Tanaman Lawi-Lawi (*Caulerpa recemosa*)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 21 Desember 2022
Yang menyatakan



(Silma Rahma Atiqah)

ABSTRAK

Nama : Silma Rahma Atiqah
NIM : 180702028
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Fitoremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit di PT. Beurata Subur Persada Menggunakan Tanaman Lawi-lawi (*Caulerpa recemosa*)
Tanggal Sidang : 28 Desember 2022
Tebal Skripsi : 67
Pembimbing I : Ilham Zulfahmi, M.Si
Pembimbing II : Husnawati Yahya, M.Sc
Kata Kunci : Fitoremediasi, limbah cair kelapa sawit, *Caulerpa recemosa*

Limbah kelapa sawit merupakan suatu sisa dari hasil tanaman kelapa sawit yang tidak digunakan dalam produk utama atau hasil yang terbawa pada proses pengolahan kelapa sawit yang akan menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah yang dihasilkan oleh kelapa sawit memiliki ciri yang khas dengan bau yang menyengat dan warna yang pekat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penyisihan kadar COD, TSS dan pH dalam limbah cair kelapa sawit menggunakan tanaman *Caulerpa recemosa* yang telah dikultur di dalam media yang mengandung limbah cair kelapa sawit selama 10 hari. Penelitian ini menerapkan empat perlakuan dan satu kontrol dengan masing-masing tiga ulangan, setiap perlakuan dibedakan dengan konsentrasi campuran 0% (kontrol), 12,5%, 25%, 12,5% (tanpa lawi-lawi) dan 25% (tanpa lawi-lawi). Penurunan kadar konsentrasi COD yang signifikan terjadi pada 25% dengan kadar awal COD 471 mg/l menjadi 295 mg/l, penurunan kadar TSS yang signifikan terjadi pada 25% dengan kadar awal 247 mg/l menjadi 154 mg/l, sedangkan nilai pH mengalami penyisihan pada 12,5% dengan nilai awal 8,44 menjadi 7. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman lawi-lawi mampu menyisihkan kadar parameter COD, TSS dan pH sekaligus dapat tumbuh di dalam media yang mengandung limbah cair kelapa sawit.

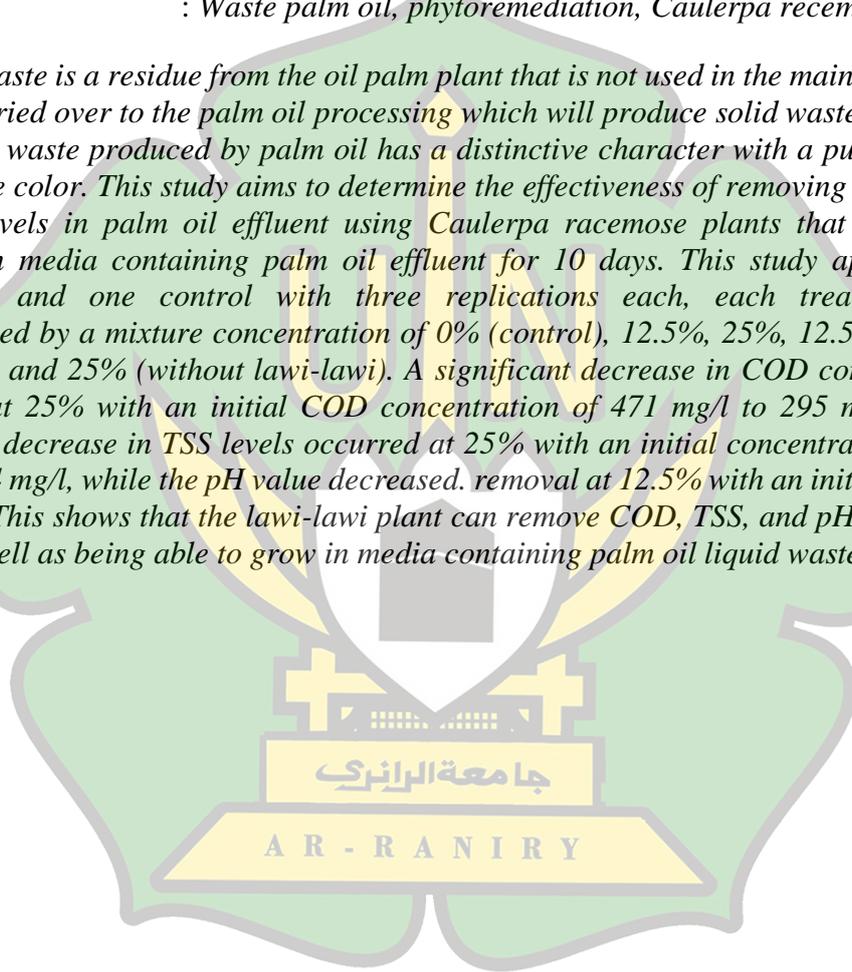
جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

ABSTRACT

Name : Silma Rahma Atiqah
Student ID Number : 180702028
Department : Environmental Engineering
Title : *Phytoremediation of Palm Oil Liquid Waste at PT. Beyrata Subur Persada Using Lawi-lawi Plants (Caulerpa racemosa)*
Date of Session : December 28,2022
Number of Page : 63
Advisor I : Ilham Zulfahmi, M.Si
Advisor II : Husnawati Yahya, M.Sc
Keyword : Waste palm oil, phytoremediation, *Caulerpa racemosa*

*Palm oil waste is a residue from the oil palm plant that is not used in the main product or results carried over to the palm oil processing which will produce solid waste and liquid waste. The waste produced by palm oil has a distinctive character with a pungent odor and intense color. This study aims to determine the effectiveness of removing COD, TSS, and pH levels in palm oil effluent using *Caulerpa racemosa* plants that have been cultured in media containing palm oil effluent for 10 days. This study applied four treatments and one control with three replications each, each treatment was distinguished by a mixture concentration of 0% (control), 12.5%, 25%, 12.5% (without lawi-lawi), and 25% (without lawi-lawi). A significant decrease in COD concentration occurred at 25% with an initial COD concentration of 471 mg/l to 295 mg/l, and a significant decrease in TSS levels occurred at 25% with an initial concentration of 247 mg/l to 154 mg/l, while the pH value decreased. removal at 12.5% with an initial value of 8.44 to 7. This shows that the lawi-lawi plant can remove COD, TSS, and pH parameter levels as well as being able to grow in media containing palm oil liquid waste.*



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji bagi Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kesehatan dan kebahagiaan dunia dan akhirat. Sholawat dan salam kita haturkan kepada pemuda revolusioner kemuliaan dan penghormatan kepada Nabi Besar Muhammad saw yang kaya ilmu, suci hati, dan suri tauladan bagi umat manusia.

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dengan judul “Fitoremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit di PT. Beurata Subur Persada Dengan Menggunakan Tanaman Lawi Lawi (*Caulerpa recemosa*)” sebagai salah satu syarat kelulusan mata kuliah tugas akhir pada pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

Penulis menyadari penelitian tidak akan selesai jika tidak ada dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan ikhlas kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan dan penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan, sehingga tugas akhir penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak khususnya dalam pengetahuan mengenai perencanaan pengolahan limbah. Dalam kesempatan ini penulis berkesempatan untuk berterima kasih yang sebanyak banyaknya kepada :

1. Teruntuk kedua orang tua tersayang, Bapak Drs. Rahimanuddin dan Ibu Nurbaidah Affan yang telah memberikan semangat dan dukungan finansial serta do'a yang tiada hentinya kepada penulis.
2. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT.,IPU selaku Dekan Fakultas Sains dan teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc. selaku Ketua Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
4. Bapak Aulia Rohendi, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik dan Sekretaris Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

5. Bapak Ilham Zulfahmi, M.Si. dan Ibu Husnawati Yahya, M.Sc. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, dukungan dan bimbingan dalam penulisan tugas akhir ini.
6. Ibu Dr. Ir. Hj. Irhamni, S.T.,M.T, IPM selaku dosen penguji 1 pada sidang munaqasyah tugas akhir
7. Bapak M. Faisi Ikhwal, M.Eng selaku dosen penguji 2 pada sidang munaqasyah tugas akhir
8. Bapak-bapak dan ibu-ibu yang ada di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah berkenan memberikan informasi dan pengetahuan selama masa perkuliahan saya.
9. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penulisan tugas akhir. Semoga tugas akhir ini dapat menjadi manfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

جامعة الرانيري

AR - RANIR Banda Aceh, 27 Desember 2022

Penulis

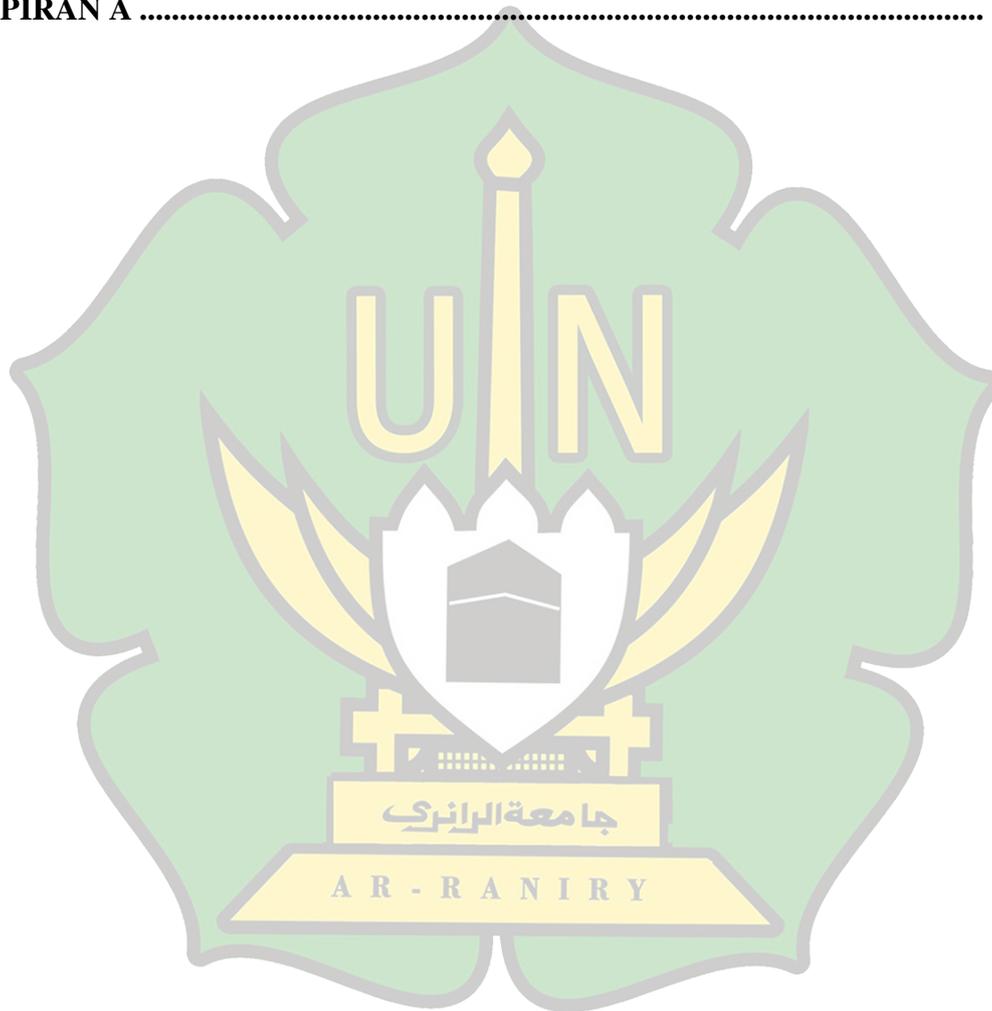
Silma Rahma Atiqah

NIM. 180702028

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Limbah	6
2.1.1. Pengertian Limbah	6
2.1.2. Karakteristik Limbah.....	6
2.2. Limbah Cair Kelapa Sawit	7
2.2.1. Sumber Limbah Cair Kelapa Sawit.....	8
2.2.2. Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit	9
2.2.3. Dampak Limbah Cair Kelapa Sawit.....	10
2.3. Fitoremediasi	11
2.3.1. Lawi lawi (<i>Caulerpa racemosa</i>).....	11
2.3.2. Klasifikasi dan Morfologi Lawi-lawi (<i>Caulerpa racemosa</i>)...	12
2.3.3. Habitat Lawi-lawi (<i>Caulerpa racemosa</i>)	14
2.3.4. Kandungan Lawi-lawi (<i>Caulerpa racemosa</i>).....	14
2.3.5. Pemanfaatan Lawi-lawi (<i>Caulerpa racemosa</i>).....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1. Tahapan Umum	16
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2. Jadwal Penelitian.....	19
3.3. Preparasi Limbah Cair Kelapa Sawit dan Lawi-Lawi.....	19
3.4. Alat dan bahan penelitian	21
3.4.1 Alat dan bahan.....	21
3.4.2 Desain Bak Kultur Lawi-lawi.....	22
3.5. Prosedur Penelitian	24

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Data Hasil Pengamatan.....	25
4.2 Laju Konsentrasi TSS	25
4.4 Parameter pH	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	34
5.1 Kesimpulan.....	34
5.2 Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN A	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Morfologi Lawi-Lawi (<i>Caulerpa racemosa</i>).....	14
Gambar 3.1. Peta lokasi pengambilan sampel	17
Gambar 3.2. Sampel tanaman lawi-lawi	19
Gambar 3.3. Sampel potongan karang.....	20
Gambar 3.4. Sketsa wadah penelitian	21
Gambar 4.1. Grafik konsentrasi TSS	26
Gambar 4.2. Gambar akar serabut tanaman lawi lawi	27
Gambar 4.3. Grafik konsentrasi COD	29
Gambar 4.4 Grafik pH pada hari ke 10	30



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar baku mutu limbah cair kelapa sawit	11
Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian	18
Tabel 4.1 Uji pendahuluan parameter 100% limbah cair kelapa sawit	24
Tabel 4.2 Hasil analisis penurunan kadar konsentrasi TSS	25
Tabel 4.3 Komparasi laju konsentrasi TSS hari ke 5 dan 10	25
Tabel 4.4 Hasil analisis penurunan kadar COD	27
Tabel 4.5 Komparasi laju konsentrasi COD hari ke 5 dan 10	28



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sawit sudah menjadi komoditi perkebunan Indonesia, hal ini ditinjau dari peningkatan devisa negara setiap tahunnya dari pengolahan dan perdagangan kelapa sawit atau produk yang dihasilkan oleh kelapa sawit. Saat ini Indonesia dan Malaysia sudah menduduki produsen minyak kelapa sawit terbesar hingga mencapai angka produksi 85% dari total produksi minyak kelapa sawit dunia. Indonesia merupakan negara produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia (Harahap *dkk.*, 2019). Direktorat Jenderal Perkebunan (2018) mengungkapkan bahwa hingga tahun 2017 total produksi minyak kelapa sawit Indonesia mencapai 35 ton dengan luas perkebunan sawit mencapai 12,3 juta Ha. Produksi minyak sawit merupakan industri yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah banyak untuk sekali produksi, dimana 1 ton minyak sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, yakni 2.5 ton limbah cair kelapa sawit. Meningkatnya jumlah produksi kelapa sawit bukan hanya memberikan dampak baik bagi Indonesia, terutama di bidang ekonomi dan perkebunan, namun juga memberikan dampak negatif berupa peningkatan total limbah padat maupun cair dari hasil pengolahan kelapa sawit. Limbah dapat berupa tandan kosong, lumpur sawit, cangkang dan fiber, serta limbah cair (Sitorus & Mardina, 2020).

PT. Beurata Subur Persada (BSP) merupakan salah satu perusahaan Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) yang terletak di Desa Babah Dua, Kecamatan Tadu Raya, Kabupaten Nagan Raya, Provinsi Aceh. Pabrik ini mengolah kelapa sawit menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) dan inti sawit. PT. BSP mempunyai satu gudang yang besar untuk tempat persediaan barang yang ada, seperti peralatan kemotoran, *bearing*, bahan kimia dan peralatan lainnya. Sebanyak 585 item barang di tampung di gudang ini. Sistem operasional pergudangan di PT. Beurata Subur Persada menggunakan standar operasional berupa administrasi yang mendukung keberlangsungan operasional pergudangan suatu perusahaan. Dimana proses administrasi tersebut menyangkut pencatatan data barang-barang yang akan di input langsung secara online melalui sistem database PT. Beurata Subur Persada mulai dari tahap awal pemasukan barang hingga tahap

pengeluaran barang. Namun adapun masalah yang terjadi pada gudang PT. Beurata Subur Persada adalah kurangnya pengawasan dalam pengambilan barang yang membuat barang menjadi minus setiap bulannya, terbatasnya personel gudang bagian administrasi, kurangnya fasilitas penunjang administrasi dan kemampuan komputerisasi karyawan gudang, serta tata letak barang gudang yang masih kurang terstruktur dengan baik.

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan produk sampingan dari proses pembuatan minyak sawit mentah yang berpotensi menyebabkan pencemaran yang parah pada ekosistem perairan. Menurut Taha dan Ibrahim (2014), sekitar 2,5 m³ POME dihasilkan dari setiap ton pengolahan minyak sawit mentah. Secara spesifik pencemaran diakibatkan oleh tingginya konsentrasi parameter pencemar yang terkandung di dalam limbah kelapa sawit, yang paling lumrah diketahui adalah parameter kimia berupa kadar COD diukur dengan COD meter, TSS diukur dengan Titrimetri, pH diukur dengan Photometri, warna diukur menggunakan spektrofotometri. Diketahui, limbah kelapa sawit di PT. Beurata Subur Persada memiliki kandungan unsur kimia dan biologi yang tinggi seperti BOD (*Biological Oxygen Demand*) sebanyak 154,74 mg/L, COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebanyak 531,19 mg/L, TSS (*Total Suspended Solid*) sebanyak 306 mg/L, dan pH (Tingkat keasaman) 8,44.

Hasil penelitian sebelumnya mengatakan bahwa sebelum diremediasi paparan limbah cair kelapa sawit berpotensi mengganggu kinerja pernapasan dan produksi ikan (Muliari dkk, 2019). Dampak negatif yang ditimbulkan jika limbah cair kelapa sawit dibuang ke lingkungan sebelum dilakukannya pengolahan lebih lanjut yaitu dapat mengganggu transparansi air, akan menghambat terjadinya proses fotosintesis, terjadinya kematian terhadap organisme akuatik, keracunan, terjadinya iritasi dan tidak menutup kemungkinan terjadinya kanker pada manusia (Syamriati, 2021). Oleh sebab itu, dibutuhkannya pengolahan limbah cair kelapa sawit agar dampak negatif terhadap lingkungan dapat dihindari.

Dampak buruk pencemaran dari limbah cair kelapa sawit ini pun juga dapat mempengaruhi kesuburan tanah, hal ini diakibatkan karena salah satu organisme yang berperan untuk memberi kesuburan pada tanah tercemar, organisme tersebut adalah fitoplankton (Muslimah, 2015). Untuk memenuhi syarat baku mutu air limbah yang telah ditetapkan menurut Permen LH Republik Indonesia 2014, maka limbah cair kelapa sawit

harus diremediasi sebelum disalurkan ke perairan. Saat ini upaya remediasi limbah cair kelapa sawit telah dilakukan berbagai metode, baik secara fisika, kimia dan biologi (Elystia, 2014). Walaupun demikian metode fisika dan kimia masih dinilai kurang ekonomis karena memerlukan biaya besar, tempat yang luas, waktu yang lama, dan dapat mengkontaminasi air dan tanah sekitar tempat pengolahan limbah (Maulinda, 2013). Metode fisika-kimia berupa *capping*, yaitu metode pemulihan sedimen dengan cara melapisi sedimen terkontaminasi dengan beberapa material. Metode pencucian, yaitu dengan menambahkan larutan tertentu ke sedimen yang tercemar untuk memindahkan kontaminan dari sedimen ke larutan pencuci. Metode imobilisasi, bertujuan untuk menstabilkan logam menjadi bentuk baru dalam fase yang tidak mudah larut sehingga lebih stabil di lingkungan. Metode biologi berupa bioremediasi dan fitoremediasi. Bioremediasi diterapkan untuk menghilangkan kontaminasi lingkungan melalui proses biologis oleh tumbuhan, hewan dan mikroorganisme (Muslimah, 2015). Fitoremediasi merupakan metode teknologi yang melibatkan penggunaan tanaman untuk menghilangkan polutan dari lingkungan, karena tanaman memiliki kemampuan menyerap dan mengakumulasi logam berat (hiperakumulator) dalam konsentrasi yang tinggi di akar (Muslimah, 2015). Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasnya dalam kadar yang luar biasa tinggi. Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Pemulihan lahan tercemar oleh logam berat secara biologi dengan menggunakan tanaman (fitoremediasi).

Fitoremediasi merupakan salah satu metode remediasi secara biologi yang sedang mendapat perhatian besar dalam satu dekade terakhir (Elystia dkk., 2014). Selain berbiaya rendah, fitoremediasi juga mudah untuk diaplikasikan serta cenderung tidak menghasilkan limbah baru (Effendi dkk, 2018). Pemanfaatan *Typha latifolia* sp. juga dilaporkan efektif mereduksi kandungan COD dalam limbah kelapa sawit hingga 97,18 % (Elystia dkk, 2019). Pemanfaatan tanaman *Vetiver* mampu mereduksi kandungan COD hingga 78,8 % (Kantawanichkul dkk 1999). Nursanti (2013), mempelajari pengolahan air limbah cair minyak kelapa sawit dengan *Phragmites australis*

mengungkapkan penurunan COD 80%. Tumbuhan dari jenis *Chrysopogon zizanioides*, *Typha latifolia*, dan *Ipomoea aquatica*, bahkan dilaporkan mampu mendegradasi nilai COD dari limbah cair kelapa sawit hingga diatas 80% yaitu masing masing sebesar 94% (Darajeh dkk, 2014), 97,18% (Elystia dkk, 2014) dan 86.3% (Zulfahmi dkk, 2021). Limbah cair kelapa sawit juga mengandung komponen organik tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman fitoremediasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kangkung air (*Ipomoea aquatica*) mampu menurunkan kandungan COD sebesar 86,3% (Kandi, 2019). Peningkatan biomasa, kandungan protein dan karbohidrat juga dilaporkan terjadi pada *Lemna minor* dan *Azolla pinnata* yang ditumbuhkan pada media yang mengandung limbah cair kelapa sawit (Kadir dkk, 2020).

Salah satu alga yang berpotensi dapat menjadi fitoremediator bagi air tercemar khususnya limbah cair kelapa sawit adalah lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*). Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) merupakan salah satu jenis alga laut dari genus *Caulerpa* famili *Caulerpaceae* yang memiliki sebaran tinggi di perairan pesisir Indonesia (Pangestuti dkk, 2021). Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) merupakan salah satu jenis alga laut yang berpotensi ganda sebagai fitoremediator limbah cair kelapa sawit, sejumlah penelitian melaporkan bahwa tumbuhan dari genus *caulerpa* telah efektif meremediasi berbagai jenis limbah, seperti merkuri (Siahaan dkk, 2015). Dalam penelitian ini, peneliti bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis penurunan konsentrasi kadar COD, TSS dan pH dari limbah cair kelapa sawit menggunakan tanaman lawi-lawi.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dijadikan acuan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) dalam menurunkan parameter COD ?
2. Bagaimana efektivitas tanaman lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) dalam menurunkan parameter TSS?
3. Bagaimana efektivitas tanaman lawi lawi (*Caulerpa racemosa*) dalam perubahan parameter pH?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menguji kemampuan lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) dalam menurunkan parameter COD pada limbah cair kelapa sawit.
2. Menguji kemampuan lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) dalam menurunkan parameter TSS pada limbah cair kelapa sawit.
3. Menguji kemampuan lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) dalam perubahan parameter pH pada limbah cair kelapa sawit.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Bagi Penelitian

Menambah pengalaman, wawasan serta pengetahuan mengenai pemanfaatan limbah cair kelapa sawit untuk media pertumbuhan lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*).

2. Bagi Masyarakat

Menambah sumber referensi bagi masyarakat tentang pemanfaatan *Caulerpa racemosa* dalam menjadi organisme yang dapat meremediasi polutan yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

3. Bagi Lingkungan

Berpotensi dapat menghindari lingkungan dari pencemar yang berasal dari limbah cair kelapa sawit yang dapat menurunkan kualitas sumber daya lingkungan dan organisme yang ada disekitarnya. Batasan pada penelitian ini adalah tidak dilakukannya pengukuran parameter terhadap sampel limbah cair kelapa sawit, melainkan hanya menganalisa dan meneliti parameter pada lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*).

1.5. Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini adalah hanya berfokus pada pH, TSS dan COD berdasarkan ketentuan baku mutu air limbah yang berpedoman pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014, tidak dilakukannya pengukuran parameter ataupun pengaruh bakteri terhadap tanaman lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah

2.1.1. Pengertian Limbah

Hasil dari suatu proses produksi rumah tangga (domestik) maupun industri merupakan limbah buangan. Air buangan ataupun air limbah adalah sisa air yang dibuang berdasarkan dari hasil limbah industri, rumah tangga maupun tempat pembuangan umum lainnya, dan pada dasarnya limbah mengandung zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan manusia, serta dapat mempengaruhi organisme makhluk hidup, dan juga dapat merusak lingkungan ekosistem (Notoatmojo, 2011). Diketahui, limbah kelapa sawit di PT. Beurata Subur Persada memiliki kandungan unsur kimia dan biologi yang tinggi seperti BOD (*Biological Oxigen Demand*) sebanyak 154,74 mg/L, COD (*Chemical Oxigen Demand*) sebanyak 531,19 mg/L, TSS (*Total Suspended Solid*) sebanyak 306 mL/L, dan pH (Tingkat keasaman) 8,44.

Dalam Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009, pengertian limbah yaitu sisa proses aktivitas atau kegiatan. Limbah identik dengan sumber pencemaran atau sebagai bahan pencemar, karena limbah menjadi substansi pencemaran lingkungan, oleh sebab itu pengolahan limbah akan sangat dibutuhkan untuk menangani pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah (Pitoyo dkk, 2016).

2.1.2. Karakteristik Limbah

Karakteristik limbah dipengaruhi oleh ukuran mikro (partikel), tersebar luas dan berdampak panjang dimana sifatnya yang juga dinamis, kualitas dari limbah itu sendiri dipengaruhi oleh kandungan bahan pencemar, volume limbah, dan frekuensi pembuangan limbah (Widjajanti, 2009). Berdasarkan kelompoknya, maka limbah dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis limbah, yaitu limbah padat, limbah cair, limbah gas, dan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Secara harfiah, air limbah terdiri dari 99,9% kandungan air dan 0,1% dari bahan pencemar padat, bahan padatan tersebut terdiri dari 70% berupa bahan organik dan sebanyak 30% berupa kandungan anorganik (Pitoyo dkk, 2009).

2.2. Limbah Cair Kelapa Sawit

Sawit sudah menjadi komoditi perkebunan Indonesia, hal ini ditinjau dari peningkatan devisa negara setiap tahunnya dari pengolahan dan perdagangan kelapa sawit atau produk yang dihasilkan oleh kelapa sawit. Saat ini negara Indonesia dan negara Malaysia sudah menduduki penghasil minyak kelapa sawit terbanyak hingga mencapai angka produksi 85% dari total produksi minyak kelapa sawit dunia. Indonesia merupakan negara produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia (Harahap dkk, 2018). Direktorat Jenderal Perkebunan (2018) mengungkapkan bahwa hingga tahun 2017 total produksi minyak kelapa sawit Indonesia mencapai 35 ton dengan luas perkebunan sawit mencapai 12,3 juta Ha. Produksi minyak sawit merupakan industri yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah banyak untuk sekali produksi, dimana 1 ton minyak sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, yakni 2.5 ton limbah cair kelapa sawit. Meningkatnya jumlah produksi kelapa sawit bukan hanya memberikan dampak baik bagi Indonesia, terutama di bidang ekonomi dan perkebunan, namun juga memberikan dampak negatif berupa peningkatan total limbah padat maupun cair dari hasil pengolahan kelapa sawit. Limbah dapat berupa tandan kosong, lumpur sawit, cangkang dan fiber, serta limbah cair (Sitorus & Mardina, 2020).

Limbah kelapa sawit merupakan sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau hasil ikutan dari proses pengolahan kelapa sawit. Limbah hasil pengolahan kelapa sawit dibedakan menjadi limbah cair yang biasa dikenal dengan istilah POME (*Palm Oil Mill Effluent*) serta limbah padat berupa sabut, cangkang, janjangan kosong (JJK) dan solid basah (*wet decanter solid*) (Pahan, 2007). Limbah kelapa sawit merupakan suatu sisa hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau hasil yang terbawa dari proses pengolahan kelapa sawit yang berupa limbah padat dan limbah cair. Limbah yang dihasilkan oleh kelapa sawit memiliki ciri yang khas dengan bau yang menyengat dan warna yang pekat (Mirnandaulia dkk, 2018). Limbah ini masih mengandung padatan yang terlarut, padatan ini berasal dari material lignoselulosa yang memiliki komposisi dari lipid, material yang mengandung selulosa dan hemiselulosa (Irvan dkk, 2012). Lignoselulosa secara sederhana adalah komponen utama penyusun dinding sel tumbuhan. Sumber lignoselulosa bisa berasal dari beragam

sumber daya alam, seperti produk pertanian, perkebunan, dan hutan. Sumber utama bahan lignoselulosa yang banyak digunakan adalah berasal dari kayu hutan.

Limbah cair kelapa sawit atau POME merupakan limbah cair mengandung banyak padatan terlarut. Sebagian besar kandungan padatan terlarut ini berasal dari material lignoselulosa yang mengandung minyak yang berasal dari buah sawit. Lignoselulosa dalam limbah cair kelapa sawit adalah kandungan terbanyak dari tanaman berkayu. Lignoselulosa terdiri dari kandungan lignin, hemiselulosa, dan material berselulosa. Kandungan bahan kimiawi dari lignoselulosa ini membuat mereka bernilai tinggi dari segi bioteknologi (Ibrahim, 2006).

Kebanyakan limbah ini harus dibuang langsung dengan cara dibakar, karena limbah lignoselulosa dilarang di negara berkembang. Namun, jika dibiarkan membusuk akan muncul masalah ketika biomassa ini tidak diperlakukan dengan baik dan di areal pertanaman, dimana akan memicu penumpukan kandungan bahan organik yang terlalu besar. Oleh sebab itu, manajemen lingkungan memberikan tekanan yang besar di pengurangan limbah dari sumbernya ataupun proses daur ulang (Ibrahim, 2006).

Limbah industri kelapa sawit banyak terkandung senyawa organik dan anorganik. Senyawa organik cenderung mudah mengalami penguraian atau terpecahkan dibandingkan senyawa anorganik. Senyawa organik dapat diproses melalui bakteri baik secara aerob ataupun anaerob. Kesulitan limbah untuk dirombak berpengaruh terhadap ekosistem (beban pencemaran). Zat beracun seperti tembaga, timbal, perak, seng, besi, nikel pada limbah kelapa sawit dapat berpengaruh buruk pada mikroorganisme (Sugiharto, 1987). Di sisi lain kandungan bahan organik yang terkandung dalam limbah hasil pengolahan kelapa sawit merupakan bahan baku potensial yang bernilai ekonomis dan dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produksi tanaman.

2.2.1. Sumber Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah cair kelapa sawit bersumber dari proses pengolahan kegiatan industri kelapa sawit yang berasal dari pengolahan Tanda Buah Segar (TBS). Limbah ini berasal dari proses pengolahan kelapa sawit yang membutuhkan air yang banyak sehingga limbah yang dihasilkan mengandung air. Limbah cair kelapa sawit menjadi meningkat dikarenakan kegiatan proses produksi kelapa sawit dilakukan dengan rutin (Kandi, 2019).

Pengolahan yang banyak menghasilkan limbah cair kelapa sawit adalah air *sterilizer condensate* (air kondensat rebusan) dan *sludge water* (air drab). Pada pemrosesan tersebut terjadinya pengenceran dan air yang berasal dari hidrosiklon. Kuantitas air limbah yang diperoleh serta warna air limbah terutama total solid, padatan melayang dan minyak didapatkan dari jumlah air yang dibutuhkan pada saat proses produksi. Pada sekali produksi pabrik kelapa sawit akan membutuhkan air rata-rata dengan jumlah 2,2 m³/ton TBS (Tanda Buah Segar), sedangkan limbah yang dihasilkan sebanyak 1,2-1,7 m³/ton TBS dan minyak yang dihasilkan sebanyak 2-3 ton (Maulinda, 2013).

Pada kegiatan proses produksi kelapa sawit kegiatan seperti kegiatan klasifikasi minyak, kegiatan pencucian bahan baku ialah kegiatan yang harus dilakukan sebelum proses produksi berlangsung, akan tetapi proses ini tergolong dalam proses yang menghasilkan sumber limbah secara langsung. Proses pencucian meliputi semua unit perangkat-perangkat, mesin yang digunakan pada proses produksi berlangsung dan unit penunjang yaitu *pump house*, bengkel, *power house* dan lainnya (Kandi, 2019).

2.2.2. Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah Cair Kelapa Sawit memiliki cairan berwarna kecokelatan dengan kandungan air sebanyak 95-96%, minyak sebanyak 0,6-0,7% dan total padatan sebanyak 4-5% yang bersumber dari polutan dari tahan buah segar (TBS) yang mengandung *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang sangat tinggi. Limbah cair kelapa sawit mengandung zat padat yang terlarut dan tersuspensi yaitu berbasal dari koloid yang memiliki konsentrasi tinggi yang bersumber dari bahan organik dengan nilai pH 4 atau 5 dan temperatur mencapai 140 °C (Wahyudi, dkk., 2018). Diketahui, limbah kelapa sawit memiliki kandungan unsur kimia dan biologi yang tinggi seperti BOD (*Biological Oxygen Demand*) sebanyak 25.500 mg/L, COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebanyak 48.000 mg/L, TSS (*Total Suspended Solid*) sebanyak 31.170 mL/L, N (Nitrogen) sebanyak 41 mL/L, pH (Tingkat keasaman) 4.0 dan minyak dan lemak sebanyak 3.075 mL/L (Zulfahmi dkk, 2017).

Menurut Fairolzukry dkk, (2008) menyatakan bahwa limbah cair kelapa sawit juga memiliki kandungan senyawa yaitu *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH). *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) merupakan senyawa yang tergolong organik

dengan kandungan lebih dari dua cincin aromatic yang berasal dari atom karbon dan hidrokarbon. Jenis *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) yang berasal dari limbah cair kelapa sawit adalah *Pyrene*, *Naphtalene*, *Floranthene* dan *Fluorne Pheanthrene*. Limbah kelapa sawit yang dihasilkan berdampak negatif terhadap lingkungan. Limbah industri ini berpotensi dapat menimbulkan pencemaran terutama pada badan air.

Peraturan yang mengatur tentang limbah cair kelapa sawit dapat dibuang ke perairan diatur pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republic Indonesia Tahun 2004. Berikut adalah Tabel 2.1 Standar Baku Mutu Limbah Cair Kelapa Sawit.

Tabel 2.1 Standar Baku Mutu Limbah Cair Kelapa Sawit

Paremeter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/Ton)
COD	350	0,88
TSS	250	0,63
pH	6,0-9,0	

(Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014)

Senyawa organik seperti unsur hara pada limbah cair kelapa sawit akan dimanfaatkan kembali oleh tumbuhan-tumbuhan sebagai energi untuk pertumbuhan sehingga tumbuhan-tumbuhan tanpa disadari menjadi pengurai dari limbah tersebut. Akan tetapi, kandungan senyawa organik yang tinggi tidak mudah dimanfaatkan oleh tumbuhan. Senyawa yang susah terurai akan mempengaruhi kelestarian lingkungan terutama kepada mikroorganisme yang hidup diperairan (Silalahi dan Supijanto, 2010).

2.2.3. Dampak Limbah Cair Kelapa Sawit

Dampak negatif yang ditimbulkan jika limbah cair kelapa sawit dibuang ke lingkungan sebelum dilakukannya pengolahan lebih lanjut yaitu dapat mengganggu transparansi air, akan menghambat terjadinya proses fotosintesis, terjadinya tumor maupun kematian terhadap organisme akuatik, keracunan, terjadinya iritasi dan tidak menutup kemungkinan terjadinya kanker pada manusia (Andika dkk, 2020). Menurut Ghani dkk (2020), menyatakan bahwa dampak yang akan terjadi jika limbah cair kelapa sawit dibuang langsung ke lingkungan akan menimbulkan kekeruhan, sebagian cairan

akan mengendap di dasar air, menyerap oksigen yang terlarut didalam air, tidak mudah terurai, menimbulkan bau yang tidak sedap dan merusak ekosistem air.

2.3. Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah teknologi proses dengan menggunakan tanaman untuk meremediasi dan memperbaiki kondisi tanah, *sludge*, kolam, sungai dari kontaminan. Saat ini upaya meremediasi limbah cair kelapa sawit dengan menggunakan berbagai metode terus dikembangkan, salah satunya melalui fitoremediasi (Pangestuti dkk, 2021). Fitoremediasi dinilai sebagai salah satu metode remediasi limbah cair kelapa sawit yang efisien, ramah lingkungan dan mudah untuk diaplikasikan.

Proses fitoremediasi adalah proses kegiatan yang melibatkan tumbuhan karena memiliki klorofil, untuk meremediasi kandungan bahan tercemar yang terdapat di ekosistem seperti ekosistem air, ekosistem tanah dan udara. Fitoremediasi merupakan teknik remediasi dengan menggunakan tanaman untuk meremediasi atau mengurangi kadar bahan pencemar dalam lingkungan yang dasarnya berbahaya menjadi aman dan baik untuk lingkungan. Fitoremediasi diartikan sebagai salah satu metode yang menggunakan peran tumbuhan berklorofil untuk dapat menyerap, mendegradasi bahan pencemar (Puspanti, 2013).

Fitoremediasi juga dapat dilakukan secara in-situ yaitu langsung di tempat terjadinya pencemaran, dan secara ex situ yaitu menggunakan kolam buatan yang dengan bioreaktor besar untuk penanganan limbah. Bagian alami tanaman yang dapat digunakan secara langsung terdiri dari bagian akar, batang, dan daun, maupun dalam bentuk kultur jaringan tanaman (Relf, 1996). Metode fitoremediasi yang bisa digunakan dapat berkembang dengan pesat dan memiliki keunggulan dan berkembang secara pesat terutama untuk ekosistem air dan tanah, karena dinilai lebih efektif, efisien, bersifat berkelanjutan, dan lebih ekonomis di bidang ekonomi penggunaan metode fitoremediasi di tinjau lebih efektif karena biaya operasi yang digunakan relatif murah dibandingkan dengan metode konvensional, sehingga hal ini dapat menghemat biaya sebesar 75-85% (Elystia dkk, 2014).

2.3.1. Lawi lawi (*Caulerpa racemosa*)

Caulerpa racemosa dapat tumbuh di aliran air laut yang tenang. Distribusi *Caulerpa racemosa* tersebar luas dipantai daerah tropik dan daerah subtropik, dengan

keanekaragaman paling banyak berada di daerah tropik. *Caulerpa racemosa* membutuhkan substrat untuk menyerap unsur hara yaitu akar tanaman lawi-lawi dalam tanah. Pengembangan budidaya *Caulerpa* karena harus dalam substrat, maka lahan-lahan tambak terlantar yang bebatasan langsung dengan pantai dapat dimanfaatkan. Marga *Caulerpa racemosa* dapat dijumpai pada daerah pantai yang mempunyai banyak terumbu karang. Tumbuh pada substrat pecahan karang mati, pasir lumpur dan lumpur serta *C. serulata* tumbuh pada substrat pasir. Kebanyakan jenis ini tidak tahan pada kekeringan tumbuh pada kedalaman perairan yang pada saat pasang surut terendah dan masih tergenang oleh air (Kadi dan Atmaja, 1988).

Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) tergolong dalam alga hijau yang tumbuh dengan alami perairan di Indonesia. Diversifikasi alga jenis *C. racemosa* merupakan golongan yang belum banyak dibudidayakan (Kresmon, 2021). Di Indonesia masyarakat yang tinggal dipesisir memanfaatkan alga sebagai makanan dan obat herbal yaitu untuk penurunan darah tinggi dan pakan ternak. Kandungan yang dimiliki *C. racemosa* adalah asam folat, asam askorbat, tiamin dan juga mengandung caulerpenin yang menunjukkan bioaktivitas terhadap sel line manusia dan memiliki sifat antikanker, antitumor dan antiproliferasi (Ridhowati dan Asnani, 2016). Dari kandungan tersebut, *C. racemosa* dapat dimanfaatkan menjadi pakan ikan karena nutrisi yang dibutuhkan ikan terkandung didalamnya. Pakan ikan yang baik memiliki kandungan seperti karbohidrat, lemak dan protein. Akan tetapi kandungan mineral dan vitamin dibutuhkan juga sebagai unsur hara mikro. Kandungan tepung *Caulerpa* sp. memiliki kandungan yaitu lemak 5.13 – 5.8%, protein 27.66% - 29.42%, abu 12.43% - 14.11%, serat kasar 6.32% - 7.03%, NFE 44.61% - 47.29% dan berbagai macam mineral didalamnya (Nurfa, 2021).

2.3.2. Klasifikasi dan Morfologi Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*)

Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) umumnya dikenal dengan sebutan anggur laut (*sea grape*) dan banyak tumbuh di perairan Indonesia. Lawi-lawi dikelompokkan kedalam alga hijau dan belum dibudidayakan khusus oleh penduduk sekitar hanya saja dimanfaatkan sebagai pangan yakni sayuran atau menjadi lalapan. Tumbuhan ini mempunyai spectrum biologi dan kimia yang luas termasuk antioksidan dan menangkal radikal bebas karena kandungan yang dimiliki *Caulerpa racemosa* adalah asam folat, asam askorbat, tiamin (Ridhowati dan Asnani, 2016). Bahkan salah satu

daerah di Indonesia, yaitu Kepulauan Riau tepatnya di kabupaten Natuna tercatat memiliki potensi produksi rumput laut dengan total wilayah keseluruhan seluas 124.685,55 ha atau setara dengan 80,55% luas pesisirnya (Jumsurizal dkk., 2021). Rumput laut lawi-lawi memiliki kandungan mineral sangat tinggi dan protein nabati. Menurut Hamidi (2013), lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisi : Thallophyta

Sub Divisi : Algae

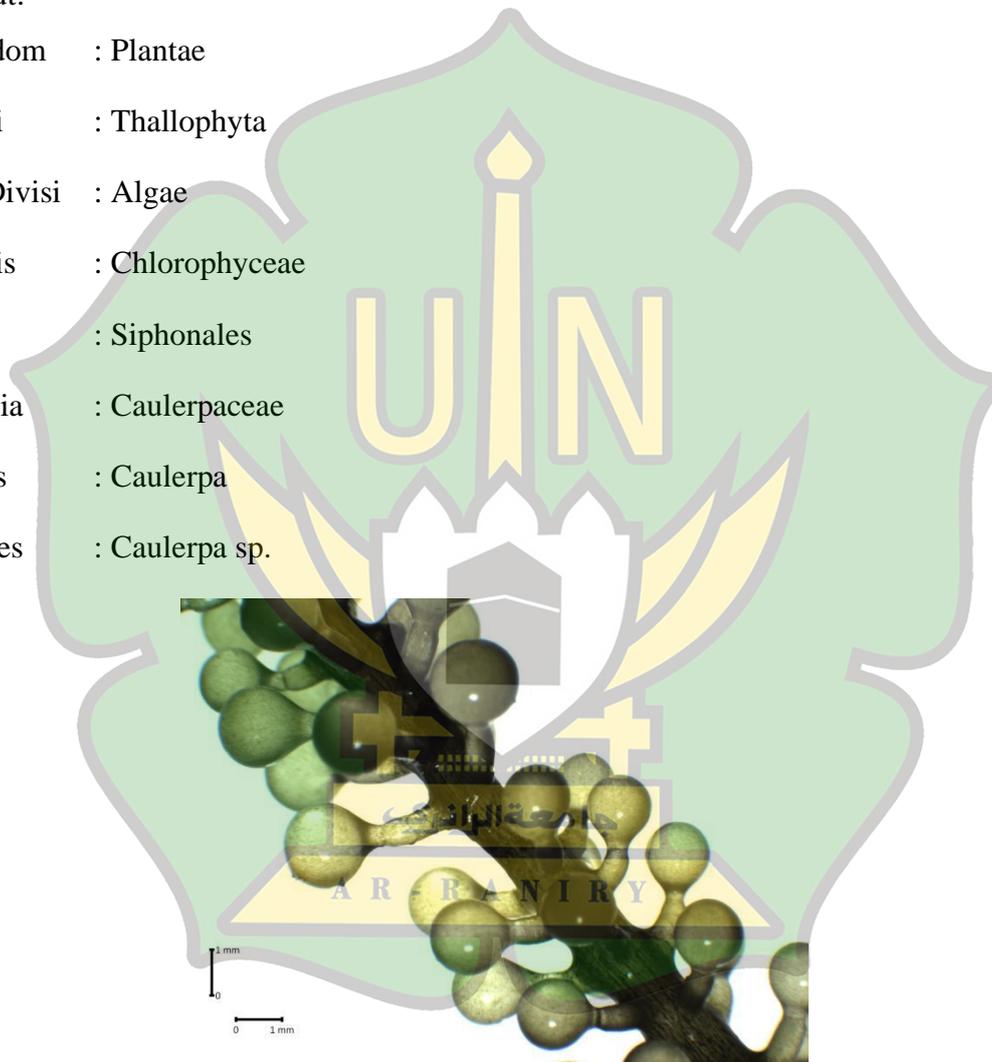
Classis : Chlorophyceae

Ordo : Siphonales

Familia : Caulerpaceae

Genus : Caulerpa

Species : Caulerpa sp.



Gambar 2.1. Morfologi Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*)

Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) termasuk kedalam golongan alga hijau yang tumbuh dan mempunyai akar yang tertanam pada substrat pasir atau pada batuan. Anatomi dari tumbuhan ini yaitu *thalus* yang memiliki diameter $\pm 1,4$ mm dengan jumlah total 24-31 *ramuli* dan rona hijau tua. Dari segi morfologi *Caulerpa racemosa*

memiliki kemiripan dengan *Caulerpa lentillifera* yaitu dari mulai *ramuli* yang memiliki bentuk bulatan-bulatan yang kecil dengan panjang cabang \pm 3-5 cm. *Thalus* yang memiliki diameter 1-2 mm dan berwarna hijau tua (Hamidi, 2013). Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) memiliki 8-16 *ramuli* dengan diameter *thalus* yaitu 2,29 mm. Penyebaran tumbuhan ini berbeda-beda pada setiap daerah, seperti di Sulawesi masyarakat disana menyebutnya lawi-lawi, di Bali masyarakat menyebutnya bulung boni dan di Jawa masyarakat menyebutnya latoh. Saat ini lawi-lawi banyak dibudidayakan di perairan Jawa, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara dan Sumatera (Kresmon, 2021).

2.3.3. Habitat Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*)

Habitat lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) tersebar diberbagai macam tempat salah satunya yaitu pada tanaman lembut yang banyak ditemukan pada daerah tropis, terumbu karang, perairan yang tidak memiliki ombak, perairan yang berpasir dan kawasan pasang surut air. Tumbuhan ini merupakan tumbuhan yang berasal dari salah satu pulau di Amerika yaitu Hawaii. Jenis mikroalga ini terdapat di Hawaii dengan mempunyai morfologi yang kecil dan tumbuh di tempat yang tidak luas dengan air yang tenang, hangat dan menempel diterumbu karang (Nurfa, 2019; Hamidi, 2013).

Caulerpa racemosa merupakan alga hijau yang pertumbuhannya tergantung kepada substrat, komposisi jenis dan musim. Jenis substrat yang dapat menjadi media pertumbuhan alga adalah pecahan karang, pasir dan lumpur (Supriadi dkk, 2016). Mikroalga jenis ini sudah mulai di budiyakan di perairan Indonesia dan menjadi salah satu program oleh pemerintahan karena tumbuhan ini memiliki manfaat yang berlimpah. Biasanya lawi-lawi akan mudah tumbuh pada daerah yang berpasir dangkal, antara terumbu karang dangkal yang dilindungi dan daerah hutan bakau yang memiliki ombak yang tenang (Hamidi, 2013).

2.3.4. Kandungan Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*)

Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan tidak mengandung zat yang tergolong berbahaya oleh tubuh, hal ini membuat tumbuhan ini aman apabila dikonsumsi seperti menjadi sayuran dan lalapan (Ridhowati dan Asnani, 2016). Menurut Hasbullah dkk (2016), bahwa kandungan nutrisi pada *Caulerpa racemosa* dalam berat 100 gr yaitu memiliki protein sebanyak 0,5 gr, lemak sebanyak

0,9 gr, karbohidrat sebanyak 2,6 gr, kalsium sebanyak 307 mg, zat besi sebanyak 9,9 mg, Vitamin A sebanyak 0,1 μ , vitamin B sebanyak 1,0 mg dan kandungan vitamin C sebanyak 1,3 mg. Kelebihan lainnya yang dimiliki tumbuhan ini adalah memiliki nutrisi tinggi dengan kadar protein yang mencapai 30%, tinggi akan antioksidan dan karotenoid, kecepatan tumbuhnya cepat dan mudah dikembangbiakan.

2.3.5. Pemanfaatan Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*)

Menurut Octiviani dkk (2015) lawi-lawi (*Caulerpa Racemosa*) berpotensi sebagai agen fitoremediator merkuri yang mencemari lingkungan perairan. Potensi lawi-lawi dalam mereduksi merkuri yaitu 1-3% berat kering dengan biomassa yang tinggi dan laju pertumbuhan yang cepat. Potensi lainnya dimiliki lawi-lawi dalam mereduksi limbah yaitu limbah Remazol dan menurunkan kadar hidrokarbon yg terdapat di perairan (Gokulan dkk, 2021). Selain sebagai agen fitoremediasi, lawi-lawi dengan kandungan yang dimilikinya dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku produk industri seperti tambahan pada produk makanan, pakan, produk kecantikan dan bahan baku obat-obatan (Mukarramah dkk, 2017; Ridhowati dan Asnani, 2016; Utami dkk, 2013).

Tabel 2.1 Hasil penelitian terdahulu

No	Penulis	Judul	Efektivitas Penurunan
1.	Elystia S., A. Sasmita, dan Purwanti	Pengolahan Kandungan COD Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit oleh Typha Latifolia dengan Metode Fitoremediasi	COD = 97,18%
2.	Balu M, Lingadurai K, Shanmugam P, Raja K, Teja NB, Vijayan V.	Biodiesel production from <i>Caulerpa racemosa</i> (macroalgae) oil.	COD = 78%

BAB III

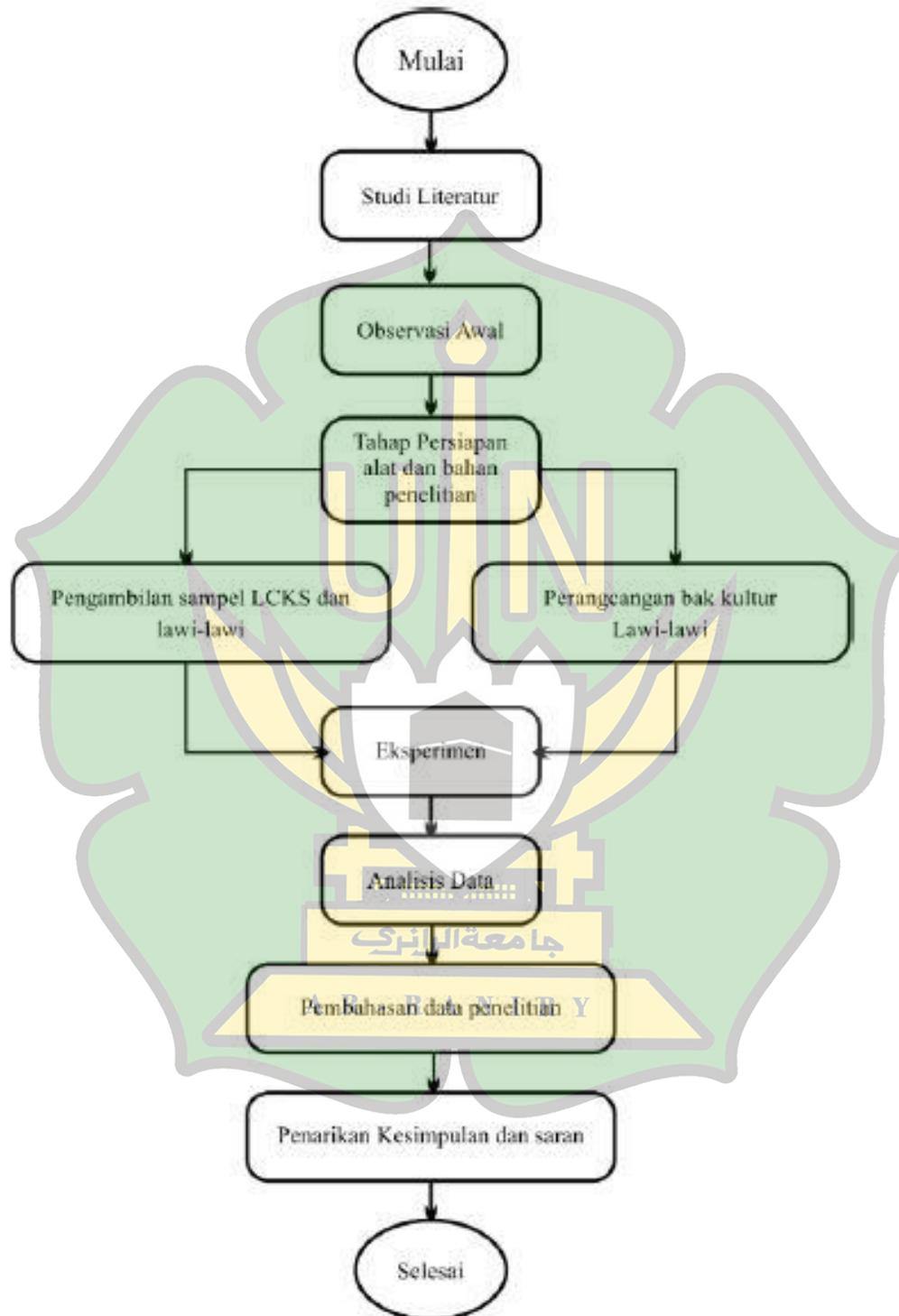
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Umum

Tahapan umum pada penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan diantaranya :

1. Tahapan studi literatur merupakan studi yang dilakukan untuk mencari informasi dan mengumpulkan data yang berhubungan dengan penelitian baik dari buku, jurnal maupun karya ilmiah lainnya.
2. Tahap pengamatan awal merupakan tahap pertama untuk mengetahui kondisi limbah cair kelapa sawit, sehingga dapat ditentukan alternatif pengolahan yang tepat.
3. Tahap persiapan merupakan tahap menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian dengan tujuan agar waktu dan pekerjaan yang dilakukan dapat berjalan efektif.
4. Perancangan wadah kultur atau reaktor untuk lawi-lawi.
5. Pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit sebanyak 30 liter untuk dilakukan eksperimen terhadap penurunan parameter COD, TSS dan pH tanaman lawi-lawi.
6. Tahap eksperimen merupakan tahap untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap penurunan parameter COD, TSS dan pH sesuai dengan Permen LH RI tahun 2014, serta pertumbuhan lawi-lawi.
7. Tahap analisis data, tahap yang dilakukan untuk mengetahui hasil hasil mentah dan selanjutnya dilakukan analisis dengan metode statistik untuk mendapatkan hasil dari penelitian.
8. Tahap pembahasan data analisis penelitian, merupakan tahap untuk mendeskripsikan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan.
9. Tahap penarikan kesimpulan yaitu menjawab pertanyaan yang berkaitan dengan rumusan masalah pada penelitian yang dilakukan, serta mengevaluasi kekurangan dari penelitian yang sudah dilakukan agar dapat disempurnakan pada penelitian selanjutnya.

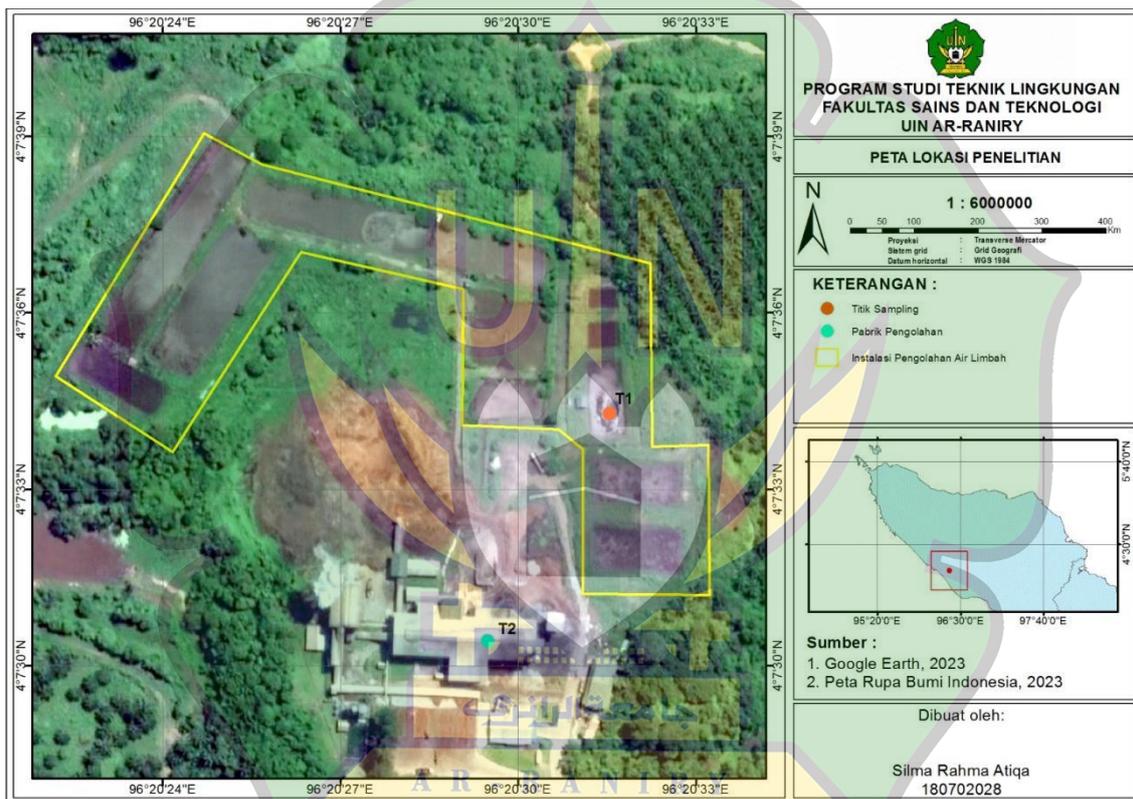
Tahap pelaksanaan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1. Tahapan penelitian

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry Banda Aceh beralamat di jalan Lingkar Kampus UIN Ar-Raniry, Rukoh, Darussalam, Banda Aceh. Pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit berlokasi di PT. Beurata Subur Persada, Nagan Raya. Mulai September sampai Oktober 2022. Tahap fitoremediasi dan pengamatan parameter COD, TSS, dan pH lawi-lawi dilaksanakan di Laboratorium Multifungsi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.



Gambar 3.2. Peta lokasi pengambilan sampel

Teknik pengambilan sampel yang dilakukan adalah metode *grab sampling* yaitu dengan menggunakan botol dengan pemberat dan dikaitkan dengan tali untuk mengambil sampel yang berada pada dasar kolam, metode sampling ini sesuai dengan SNI 6989.59:2008. Dokumentasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Lampiran Dokumentasi Penelitian. Sampel Lawi-lawi dikoleksi dari BPBAP Ujong Batee, tepatnya berada di Desa Durung, Kecamatan Masjid Raya, Kabupaten Aceh Besar.

3.2. Jadwal Penelitian

Pelaksanaan penelitian pemanfaatan lawi-lawi (*Caulerpa recemosa*) sebagai fitoremediator limbah cair kelapa sawit dilakukan dengan jadwal sebagai berikut :

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Kegiatan	Juni		Sep				Nov				
		1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Seminar proposal											
2	Pengambilan sampel limbah cair kelapa sawit di PT. Beurata Subur Persada											
3	Pengambilan sampel lawi-lawi (<i>Caulerpa recemosa</i>) di BPAP											
4	Aklimatisasi tumbuhan lawi-lawi (<i>Caulerpa recemosa</i>)											
5	Uji pendahuluan COD, TSS dan pH limbah cair kelapa sawit											
6	Pengujian parameter minggu ke-1											
7	Pengujian parameter ke- 2											
8	Analisis data dan pengolahan data											
9	Penyusunan tugas akhir											
10	Sidang munaqasyah											

3.3. Preparasi Limbah Cair Kelapa Sawit dan Lawi-Lawi

Sebanyak 30 liter limbah kelapa sawit yang berlokasi di Kabupaten Nagan Raya, Provinsi Aceh, Indonesia. Sampel diambil dari salah satu outlet pembuangan limbah cair kelapa sawit, yaitu kolam kontak (*contact pond*) (kolam ke 4). Sebanyak 30 L limbah cair kelapa sawit dikoleksi dari kolam limbah yang telah melewati tahap remediasi sebelumnya secara anaerobik (kolam anerobik). Menurut Standar Nasional Indonesia 6989.59:2008, Sampel limbah ditempatkan dalam wadah tertutup dengan suhu $< 4^{\circ}\text{C}$ untuk menghindari biodegradasi. Pengawetan limbah untuk pengecekan parameter COD, pH dan minyak ditambahkan H_2SO_4 sampai pH < 2 . Kualitas air limbah berfluktuasi atau

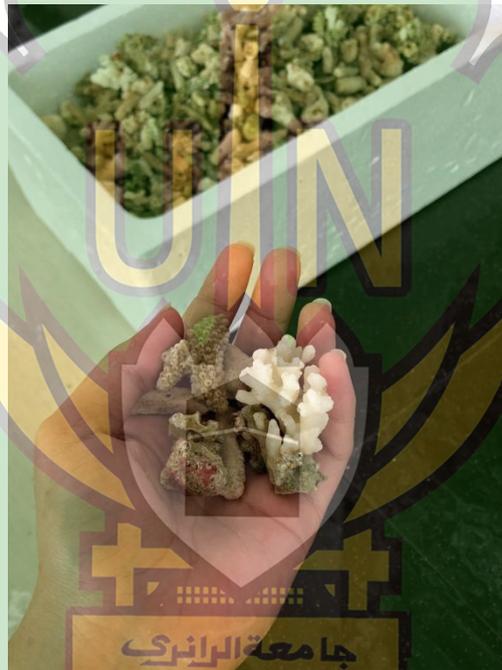
tidak berfluktuasi akibat proses produksi, semua air limbah dari masing-masing proses disatukan dan dibuang melalui bak equalisasi, maka pengambilan contoh dilakukan pada saluran sebelum masuk ke perairan penerima air limbah, dengan cara sesaat (*grab sampling*). Karakteristik awal limbah cair kelapa sawit yang diukur meliputi COD, TSS, dan pH. Hal ini dikarenakan pada kolam kontak suhu dan konsentrasi pencemaran berbahaya sudah menurun dikarenakan telah melalui serangkaian proses dari kolam-kolam sebelumnya seperti *cooling pond*, *mixing pond* dan *anaerobic pond*, fungsi dari ketiga kolam yang sudah disebutkan tadi adalah untuk menurunkan suhu, menurunkan konsentrasi berbahaya pada limbah dan mendegradasi limbah cair kelapa sawit, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) nantinya. Sampel limbah diangkut ke laboratorium dengan menggunakan transportasi darat. Sampai dengan masa uji coba, sampel limbah cair kelapa sawit ditempatkan dalam wadah tertutup.



Gambar 3.2. Sampel tanaman lawi-lawi

Sampel lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) diambil dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Ujong Batee, tepatnya berada di Desa Durung, Kecamatan Masjid Raya, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh, Indonesia. Sebelum digunakan, lawi-lawi dicuci menggunakan air laut steril untuk menghilangkan sedimen dan organisme menempel lainnya. Aklimatisasi dilakukan selama empat hari dalam wadah plastik bervolume 30 L air laut steril bersalinitas 30 ppt yang dilengkapi aerasi. Patahan karang digunakan

sebagai substrat media tempat meletakkan lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) (Supriadi dkk, 2016). Pencahayaan diatur dengan perbandingan 16 jam terang dan 8 jam gelap, suhu ruangan diatur pada 20°C. Lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) yang akan digunakan sebagai tanaman uji dipilah berdasarkan ukuran yang seragam, baik panjang *erect frond*, jumlah ramuli, panjang stolon dan bobot basahnya (Gao dkk, 2019). Wadah fitoremediasi yang digunakan berupa wadah *styrofoam* berukuran 38 x 25 x 17 cm bervolume 10 L air dan dilengkapi aerasi. Sumber air berasal dari air tanah yang di aerasi terlebih dahulu selama 48 jam sebelum digunakan.



Gambar 3.3 Sampel potongan karang

3.4. Alat dan bahan penelitian

3.4.1 Alat dan bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut.

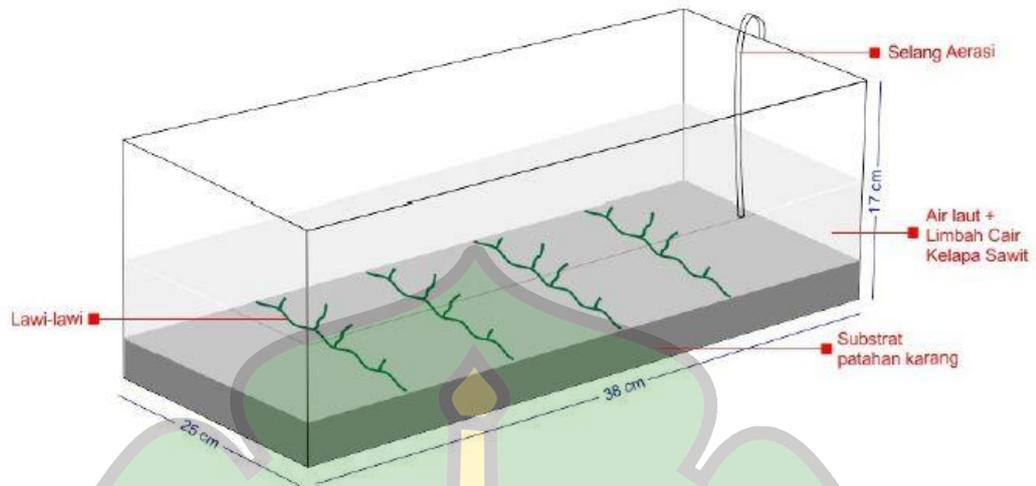
Tabel 3.1 Bahan dan alat penelitian

Alat/Bahan	Spesifikasi	Jumlah	Kegunaan
Limbah cair kelapa sawit	-	30 liter	Sampel yang akan digunakan

Lawi-lawi	-		Sampel yang digunakan
Air laut	-	30 liter	Sumber pertumbuhan lawi lawi
Patahan karang	-	-	Sebagai media tumbuh lawi-lawi
Aerator	Amark	5 buah	Sebagai alat aerasi
Selang penghubung aerator	-	17 buah	Menghubungkan antar aerator
Jerigen	-	2 buah (30 liter)	Sebagai wadah pengisi sampel
Gayung	-	1 buah	Untuk mengambil air
Corong	-	1 buah	Untuk mempermudah pengisian air
Lampu	Hannoch	1 buah	Sebagai penerangan
Larutan H ₂ SO ₄	Pudak	100 ml	Untuk titrasi larutan sampel
Larutan K ₂ Cr ₂ O ₇	Pudak	100 ml	Untuk titrasi larutan sampel
Kertas saring	Whatman no. 42	60 lembar	Untuk menyaring larutan sampel
<i>Styrofoam</i>	-	15 buah	Sebagai wadah kultur
Botol sampel	-	30 buah	Untuk mengisi bahan sampel

3.4.2 Desain Bak Kultur Lawi-lawi

Wadah fitoremediasi berupa *styrofoam* berukuran 21 x 17 x 15 cm bervolume 10 L yang diisi dengan air laut dan patahan karang dan aerator dan dibatasi dengan kawat, serta ruangan diberikan lampu. Berikut sketsa wadah penelitian :



Gambar 3.4. Sketsa wadah penelitian



Gambar 3.5. Wadah penelitian

Terdapat 15 wadah styrofoam yang disusun berjejer sesuai dengan jumlah konsentrasi limbah cair kelapa sawit dan air laut. 3 wadah kontrol yaitu 100% air laut dengan lawi-lawi, 3 wadah 25% limbah cair kelapa sawit dengan lawi-lawi, 3 wadah 12,5% limbah cair kelapa sawit dengan lawi-lawi, 3 wadah 25% limbah cair kelapa sawit tanpa lawi-lawi dan 3 wadah 12,5% limbah cair kelapa sawit tanpa lawi-lawi.

3.5. Prosedur Penelitian

Rancangan penelitian berupa Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari empat perlakuan dengan tiga ulangan yaitu, kontrol 100% air laut + lawi-lawi, Perlakuan A: 12,5% LCKS + lawi-lawi, Perlakuan B: 25% LCKS + lawi-lawi, Perlakuan C: 12,5% LCKS tanpa lawi-lawi, Perlakuan D: 25% LCKS tanpa lawi-lawi. Air laut yang digunakan bersalinitas 30 ppt dan telah melewati tahap sterilisasi. Wadah fitoremediasi berupa *styrofoam* berukuran 38 x 25 x 17 cm bervolume 10 L (Gambar 3.3). Dasar media diberi substrat pecahan terumbu karang sebagai tempat bersandarnya lawi-lawi. Setiap wadah dilengkapi dengan sistem aerasi serta pengaturan pencahayaan (16 jam terang : 8 jam gelap) dan suhu ruangan (20°C). Masa fitoremediasi berlangsung 10 hari. Parameter fisik kimiawi limbah yang diamati meliputi COD, TSS, pH, yang mana COD diukur berdasarkan Standar Nasional Indonesia 6989.73:2009 menggunakan metode refluks tertutup melalui titrimetri, TSS diukur dengan Titrimetri, dan pH diukur dengan pH Meter. Laju degradasi parameter diukur pada akhir periode fitoremediasi (hari ke 10) menggunakan persamaan :

$$\text{Laju Degradasi (\%)} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

C_0 adalah konsentrasi awal parameter pengamatan, sedangkan C_1 adalah konsentrasi parameter pada selang waktu pengamatan berikutnya. Signifikasi nilai parameter antar perlakuan dianalisis menggunakan *A one-way analysis of variance* (ANOVA) satu arah pada selang kepercayaan 95%.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengamatan

Pengujian eksperimen ini dari limbah cair kelapa sawit yang berlokasi di Kabupaten Nagan Raya, Provinsi Aceh, Indonesia. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar parameter air limbah cair, seperti TSS, COD dan pH.

Sampel limbah cair kelapa sawit telah diuji pengukuran awal dan parameter yang diuji yaitu parameter pH, TSS dan COD. Pada pengukuran awal yang telah dilakukan menunjukkan bahwa parameter pH, TSS, dan COD yang telah diuji melebihi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014.

Tabel 4.1. Uji pendahuluan parameter 100% limbah cair kelapa sawit

No	Parameter	Hasil Pengujian	Baku Mutu	Keterangan
1.	COD (mg/l)	445,5	350	Tidak Memenuhi
2.	TSS (mg/l)	395,7	250	Tidak Memenuhi

Setelah dilakukan proses fitoremediasi menggunakan tanaman lawi lawi (*Caulerpa recemosa*) selama 10 hari pada limbah cair kelapa sawit terjadi penurunan kadar pada parameter yang telah diuji pada limbah cair kelapa sawit tersebut. Dari eksperimen ini dapat diketahui bahwa lawi-lawi (*Caulerpa recemosa*) dapat menjadi agen fitoremediator yang dapat mereduksi kadar pencemar di lingkungan, seperti COD, TSS, dan pH. Meskipun nilai pH, COD, dan TSS pada limbah cair kelapa sawit belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan, akan tetapi beberapa parameter yang diuji sudah mulai mengalami penurunan.

4.2 Laju Konsentrasi TSS

Selama proses eksperimen, peneliti menyimpulkan bahwa degradasi mengalami fluktuasi yang beragam dari tiap perlakuan selama 10 hari, terlihat dari kondisi air limbah yang semakin menjernih dan terlihat molekul tersuspensi di permukaan wadah. Laju degradasi kadar TSS limbah cair kelapa sawit tertinggi diperoleh pada perlakuan D hari ke 0 yaitu sebesar 449 mg/L, perlakuan ini yang tidak memenuhi baku mutu untuk dibuang ke lingkungan. Sedangkan persentase laju degradasi kadar TSS limbah cair

kelapa sawit terendah diperoleh pada perlakuan A pada hari ke 10 yaitu dengan rata-rata 154 mg/L dan sudah memenuhi baku mutu limbah cair kelapa sawit.

Sampel limbah cair kelapa sawit diambil dari PT. Beurata Subur Persada, Nagan Raya, setelah dilakukan eksperimen pada limbah cair tersebut maka dapatlah hasil dari analisis kadar TSS dalam limbah yang melebihi ambang batas baku mutu yang telah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014. Akibat dari besarnya kadar konsentrasi TSS dalam limbah, diperlukan remediasi terlebih dahulu sebelum limbah dibuang ke lingkungan. Metode yang dapat mendegradasi konsentrasi kadar TSS yaitu menggunakan lawi-lawi sebagai fitoremediator. Berikut ini merupakan hasil dari proses eksperimen selama 10 hari dan disesuaikan dengan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014 tentang batas baku mutu limbah cair kelapa sawit.

Tabel 4.2. Hasil analisis penurunan kadar konsentrasi TSS

Perlakuan (ulangan)	Nilai rata-rata awal TSS (mg/l)	Baku Mutu (mg/l)	Nilai rata-rata akhir TSS (mg/l)	Keterangan
Kontrol (air laut)	106	250	92.3	Memenuhi
A (12,5% limbah+lawi lawi)	231		193.67	Memenuhi
B (25% limbah+lawi lawi)	247		154	Memenuhi
C (12,5% limbah tanpa lawi lawi)	411.67		352.33	Tidak memenuhi
D (25% limbah tanpa lawi lawi)	449.67		422.67	Tidak memenuhi

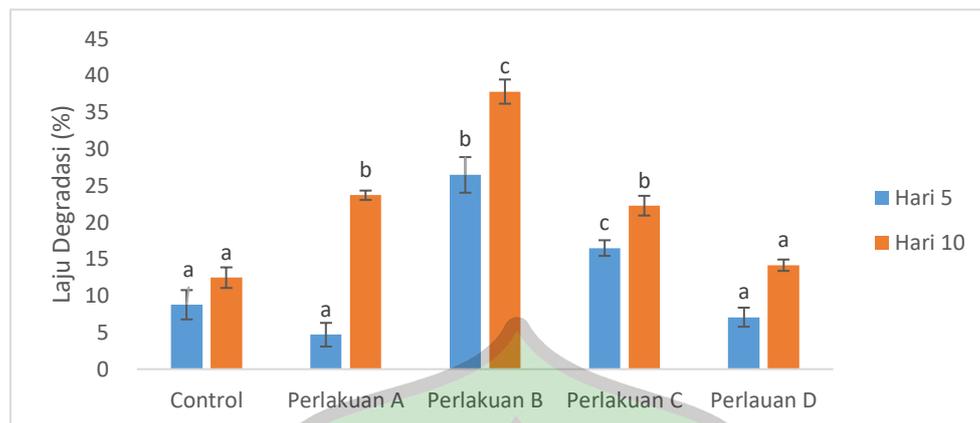
Tabel 4.3. Komparasi laju konsentrasi TSS hari ke-5 dan ke-10

Perlakuan	Hari ke 5	Hari ke 10	Sig
Kontrol (air laut)	10.62	20.88	0.000*
A (12,5% limbah+lawilawi)	4.698	23.699	0.002*
B (25% limbah+lawilawi)	26.473	37.827	0.000*
C (12,5% limbah tanpa lawi lawi)	16.505	22.281	0.007*

D (25% limbah tanpa lawi lawi)	7.085	14.169	0.015*
--------------------------------	-------	--------	--------

Setelah dilakukan uji ANOVA diperoleh hasil analisis LSD (*Least Significant Difference*) pada hari ke 10 yaitu kontrol (air laut 100%) dengan nilai standar terhadap perlakuan A (12,5% limbah kelapa sawit+lawi lawi) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan (berbeda nyata)($P < 0.05$). Pada perlakuan A(12,5% limbah+lawi lawi) terhadap perlakuan B(25% limbah+lawi lawi) menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0.05$), pada perlakuan B terhadap perlakuan C(12,5% limbah tanpa lawi lawi) menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($P < 0.05$) dan begitu pula pada perlakuan C terhadap perlakuan D(25% limbah tanpa lawi lawi) menunjukkan nilai signifikan ($P < 0.05$). Berdasarkan hasil uji statistik tersebut menunjukkan bahwa pengaruh tanaman lawi-lawi terhadap penurunan kadar konsentrasi TSS diterima sesuai dengan ketentuan persentase statistik yaitu 0.005. Pada perlakuan kontrol terhadap perlakuan D menunjukkan variabel yang sama, diduga air laut mampu menurunkan kadar TSS. Menurut Aji (2020), sekitar 7% penurunan yang terjadi akibat banyaknya persentase air laut yang ditambahkan ke dalam limbah cair dapat menurunkan kadar TSS dalam limbah cair kelapa sawit.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan metode fitoremediasi menggunakan tanaman lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) dapat menurunkan kadar TSS (*Total Suspended Solid*) pada limbah cair kelapa sawit memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014. Padatan tersuspensi merupakan atau total padatan tersuspensi adalah padatan yang tersuspensi di dalam air berupa bahan-bahan organik dan inorganic yang dapat disaring dengan kertas saring whatman millipore berporipori 0,45 μm . Padatan tersuspensi pada air merupakan jumlah bobot bahan yang tersuspensi dalam volume air yang tertentu.



Gambar 4.1 Grafik konsentrasi TSS hari ke-5 dan ke-10

Data laju degradasi pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa tanaman lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) mampu menurunkan kadar TSS limbah cair kelapa sawit. Hal ini disebabkan karena terjadinya proses penyerapan bahan organik limbah cair kelapa sawit oleh tanaman lawi-lawi, selain itu juga disebabkan oleh pengendapan bahan organik terlarut dalam air limbah yang dapat dilihat pada patahan karang.

Selain itu penurunan nilai TSS juga disebabkan karena tumbuhan lawi-lawi (*Caulerpa racemosa*) memiliki *stolon* yang merupakan batang tempat tumbuhnya *rhizoid* atau akar lawi-lawi yang berfungsi sebagai penyerap zat makanan dan sekaligus memperkuat batang atau *stolon* untuk menopang lawi-lawi terhadap substratnya (Gao dkk, 2019). Laju degradasi kadar TSS limbah cair kelapa sawit tertinggi diperoleh pada perlakuan D hari ke 0 yaitu sebesar 449 mg/L yang mana tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah untuk dibuang ke lingkungan. Sedangkan persentase laju degradasi kadar TSS limbah cair kelapa sawit terendah diperoleh pada perlakuan A pada hari ke 10 yaitu dengan rata-rata 154 mg/L dan sudah memenuhi baku mutu limbah cair kelapa sawit yang telah ditetapkan oleh pemerintah.



Gambar 4.2 Gambar akar serabut tanaman lawi-lawi

4.3 Laju Konsentrasi COD

Selama proses eksperimen, peneliti menyimpulkan bahwa kandungan COD hari ke 0, 5 dan 10, terus mengalami penurunan. Dapat dilihat dari kekeruhan air yang semakin menjernih, penurunan kadar COD yang signifikan terjadi pada perlakuan A (konsentrasi 12,5% limbah cair kelapa sawit) dengan nilai kadar COD sebesar 295 Mg/L dan sudah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah untuk dibuang ke lingkungan.

Kadar konsentrasi COD dari limbah cair kelapa sawit juga memiliki nilai konsentrasi diatas ambang batas baku mutu seperti parameter TSS diatas. Berikut ini merupakan hasil dari proses eksperimen selama 10 hari dan disesuaikan dengan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014 tentang batas baku mutu limbah cair kelapa sawit.

Tabel 4.4 Hasil analisis penurunan kadar konsentrasi COD

Perlakuan (ulangan)	Nilai rata-rata awal COD (mg/l)	Baku Mutu (mg/l)	Nilai rata-rata akhir COD(mg/l)	Keterangan
Kontrol (air laut)	25.3	350	23	Memenuhi
A (12,5% limbah+lawilawi)	462.67		258.34	Memenuhi
B (25% limbah+lawilawi)	471		295.34	Memenuhi

C (12,5% limbah tanpa lawi lawi)	508		454.34	Tidak memenuhi
D (25% limbah tanpa lawi lawi)	521.67		476.34	Tidak memenuhi

Tabel 4.5 Komparasi laju konsentrasi COD hari ke-5 dan ke-10

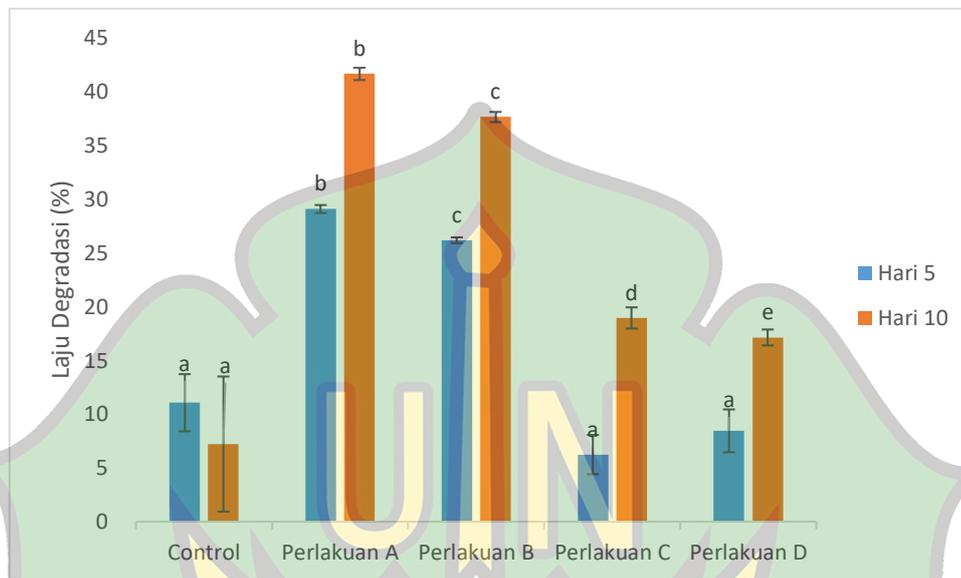
Perlakuan	Hari ke 5	Hari ke 10	Sig
Kontrol (air laut)	22.3	17.1	0.18
A (12,5% limbah+lawilawi)	29.086	41.629	0.002*
B (25% limbah+lawilawi)	26.178	37.639	0.000*
C (12,5% limbah tanpa lawi lawi)	6.237	18.950	0.002*
D (25% limbah tanpa lawi lawi)	8.449	17.135	0.000*

Setelah dilakukan uji ANOVA diperoleh hasil analisis LSD (*Least Significant Difference*) pada hari ke 10 yaitu kontrol dengan 100% air laut terhadap perlakuan A (12,5% konsentrasi limbah cair+lawi lawi) tidak menunjukkan adanya perbedaan tidak signifikan (berbeda tidak nyata)($P>0.05$). Pada perlakuan A(12,5% limbah+lawi lawi) terhadap perlakuan B(25% limbah+lawi lawi) dengan variabel a menuju b dan menunjukkan perbedaan nyata ($P<0.05$), pada perlakuan B terhadap perlakuan C (12,5% limbah tanpa lawi lawi) menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($P<0.05$) dan begitu pula pada perlakuan C terhadap perlakuan D(25% limbah tanpa lawi lawi) menunjukkan nilai signifikan ($P<0.05$). Berdasarkan hasil uji statistik tersebut menunjukkan bahwa pengaruh tanaman lawi-lawi terhadap penurunan kadar konsentrasi COD diterima, sesuai dengan ketentuan persentase statistik yaitu 0.005

Menurut Andika dkk (2020), COD (*Chemical Oxygen Demand*) yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik yang terdapat di perairan secara kimiawi. Tujuan dianalisis COD yaitu untuk mengetahui ukuran efisiensi dari proses pengolahan limbah serta untuk mengetahui sesuai atau tidaknya dengan ketentuan yang diperbolehkan mengenai pembuangan air limbah.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kadar konsentrasi kandungan COD dalam limbah cair berangsur menurun pada hari ke 5 dan 10. Penurunan kadar COD terjadi pada perlakuan A (konsentrasi 12,5% limbah cair kelapa sawit) dengan

nilai kadar COD sebesar 295 Mg/L dan sudah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah untuk dibuang ke lingkungan. Presentase laju degradasi penurunan parameter COD dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik konsentrasi COD hari ke 5 dan ke 10

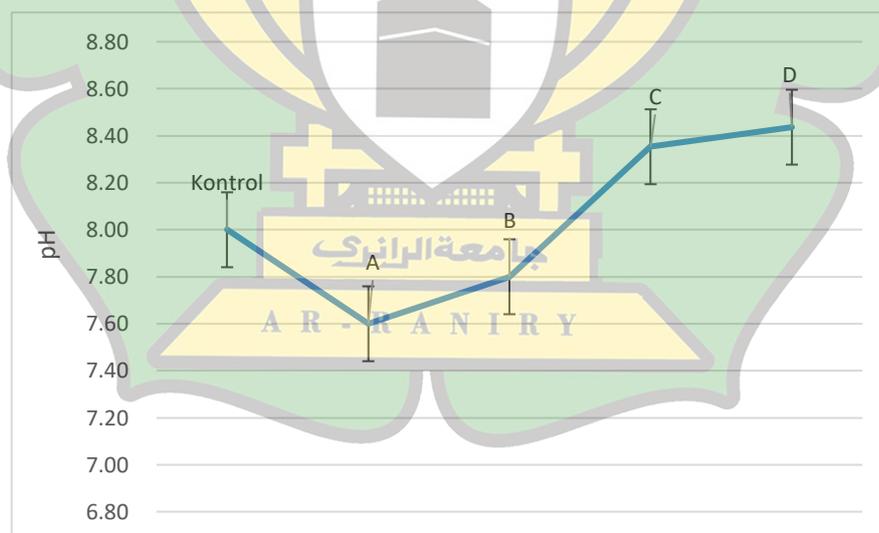
Data pada gambar 4.3 grafik konsentrasi COD menunjukkan bahwa tanaman lawi lawi efektif dalam menurunkan kadar COD dalam limbah kelapa sawit, pada reaktor perlakuan A (12,5% limbah kelapa sawit dan lawi lawi) dan perlakuan B (25% limbah kelapa sawit dan lawi lawi) menunjukkan penurunan yang signifikan pada hari ke-10 dan peneliti menduga kadar COD akan terus menurun hari demi hari dalam limbah kelapa sawit tersebut. Penurunan kadar konsentrasi COD dapat terjadi karena proses fotosintesis, peneliti menduga bahwa tanaman lawi lawi dapat menguraikan senyawa organik dalam limbah kelapa sawit melalui penyerapan akar untuk menyerap nutrisi dan melakukan penguraian terhadap limbah tersebut. Menurut Dwi dkk (2015), Penurunan COD dapat terjadi dalam proses fotosintesis, pada proses fotosintesis akan menghasilkan oksigen dan akan dilepaskan ke dalam limbah yang akan mengoksidasi senyawa organik.

4.4 Parameter pH

Pada saat eksperimen, pH awal limbah cair kelapa sawit adalah 8,44, nilai tersebut tergolong masih normal untuk limbah cair dan aman apabila terkontaminasi ke lingkungan,

akan tetapi pH limbah cair kelapa sawit yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan yaitu berkisar 6-9. pH atau disebut derajat keasaman yakni suatu ukuran yang ditetapkan untuk menetapkan kadar sifat asam atau basa pada suatu zat. Perubahan nilai pH akan berpengaruh terhadap daya racun bahan pencemar dan kelarutan beberapa gas, serta menentukan banyak zat dalam air. Skala pH berkisar antara 1-14 (Ningrum,2018). Kadar asam yang terkandung dalam larutan akan mempengaruhi nilai pH, semakin asam suatu larutan, maka akan semakin kecil pH nya. Untuk mengukur kadar pH suatu larutan dapat dilakukan dengan menggunakan kertas lakmus atau pH meter.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Kelapa Sawit, hasil dari eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan nilai pH untuk masing-masing perlakuan mengalami penurunan dan kenaikan terhadap perlakuan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Kelapa Sawit, nilai pH limbah cair kelapa sawit yang dapat diizinkan untuk dibuang pada lingkungan yaitu 6-9, akan tetapi hasil penelitian ini menunjukkan nilai pH naik dari hasil pengukuran awal yang memiliki nilai pH yaitu 8,44.

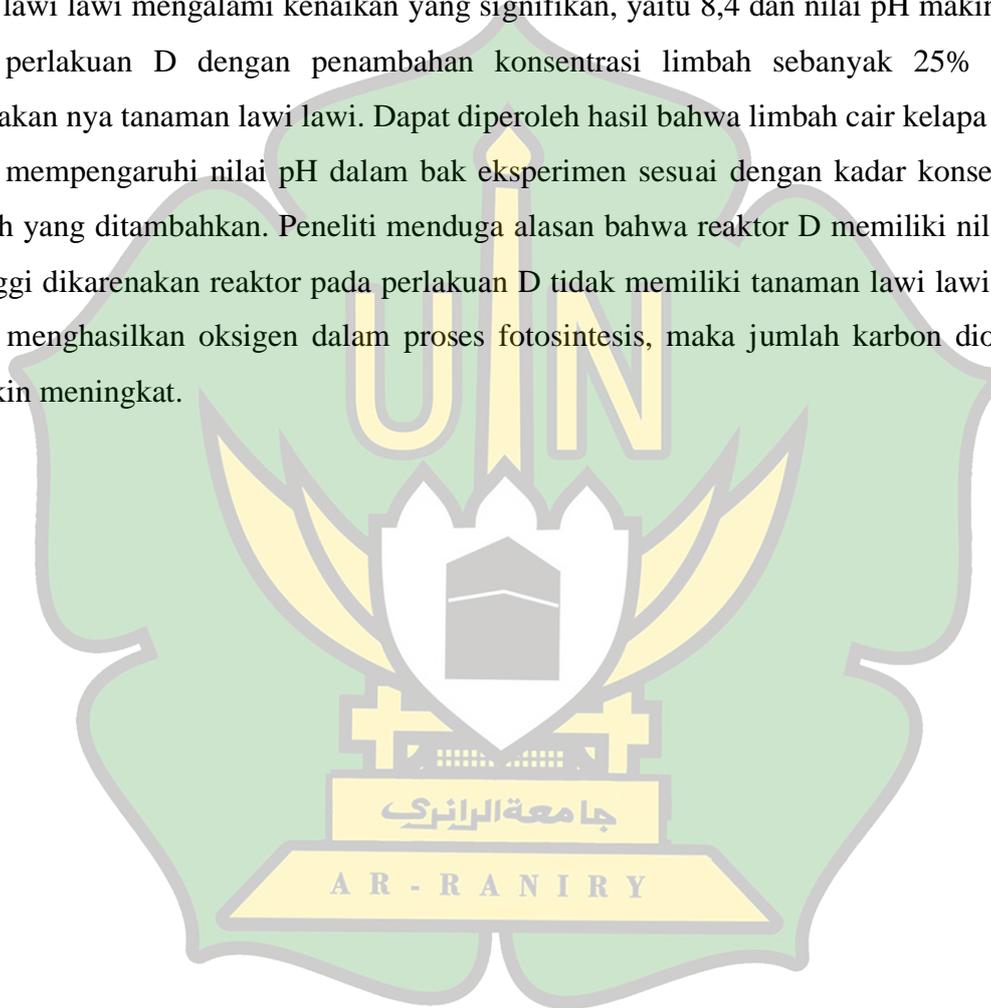


Gambar 4.4 Grafik pH pada hari ke 10

Berdasarkan hasil penelitian, pH awal saat proses aklimatisasi, kondisi pH netral yaitu 7 dalam bak kontrol dengan 100% air laut. Ketika dimasukkan limbah cair kelapa sawit kedalam wadah eksperimen, nilai pH mulai berubah sesuai dengan konsentrasi

limbah masing masing. Contohnya pada eksperimen hari ke 10 di perlakuan A dengan 12.5% limbah cair kelapa sawit dengan lawi lawi mengalami penurunan hingga nilai pH 7, dan pada perlakuan B dengan 25% limbah cair + lawi lawi mengalami kenaikan yang tidak signifikan, yaitu 7,8.

Namun, pada hari ke 10 di perlakuan C dengan 12,5% konsentrasi limbah cair tanpa lawi lawi mengalami kenaikan yang signifikan, yaitu 8,4 dan nilai pH makin naik pada perlakuan D dengan penambahan konsentrasi limbah sebanyak 25% tanpa digunakan nya tanaman lawi lawi. Dapat diperoleh hasil bahwa limbah cair kelapa sawit dapat mempengaruhi nilai pH dalam bak eksperimen sesuai dengan kadar konsentrasi limbah yang ditambahkan. Peneliti menduga alasan bahwa reaktor D memiliki nilai pH tertinggi dikarenakan reaktor pada perlakuan D tidak memiliki tanaman lawi lawi yang dapat menghasilkan oksigen dalam proses fotosintesis, maka jumlah karbon dioksida semakin meningkat.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Tanaman lawi-lawi terbukti mampu dalam mendegradasi kadar konsentrasi parameter COD, TSS dan pH pada limbah cair kelapa sawit. Tumbuhan lawi-lawi sangat baik digunakan sebagai fitoremediator yang dapat menurunkan kadar bahan pencemar dalam limbah yang sudah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup 2014. Penurunan kadar COD menurun dari 471 mg/l menjadi 295 mg/l, kadar TSS menurun dari 247 mg/l menjadi 154 mg/l, sedangkan nilai pH mengalami penyisihan dari 8,44 menjadi 7.
2. Lawi-lawi yang dibudidayakan di dalam lingkungan yang tercemar oleh limbah cair kelapa sawit dapat tumbuh dan berkembang, sekaligus dapat mendegradasi kadar konsentrasi COD dan TSS. Tumbuhan lawi-lawi terbukti dapat tumbuh dalam limbah sawit namun pertumbuhan lawi-lawi menjadi terhambat pada hari ke 10 dalam limbah dengan konsentrasi tertinggi yaitu 25%, yang dapat dilihat dari kondisi lawi lawi yang melemah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, penulis mengajukan beberapa saran :

1. Perlu dilakukan studi dan penelitian lebih lanjut mengenai fitoremediasi menggunakan tanaman lawi-lawi.
2. Penelitian selanjutnya hendaknya melakukan pengujian terhadap parameter lain yang belum dilakukan pada penelitian ini seperti BOD, DO, Turbiditas.
3. Penelitian selanjutnya hendaknya harus mengembangkan beberapa alat dalam laboratorium seperti vacum TSS, BOD dan beberapa alat lainnya yang dapat membantu proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

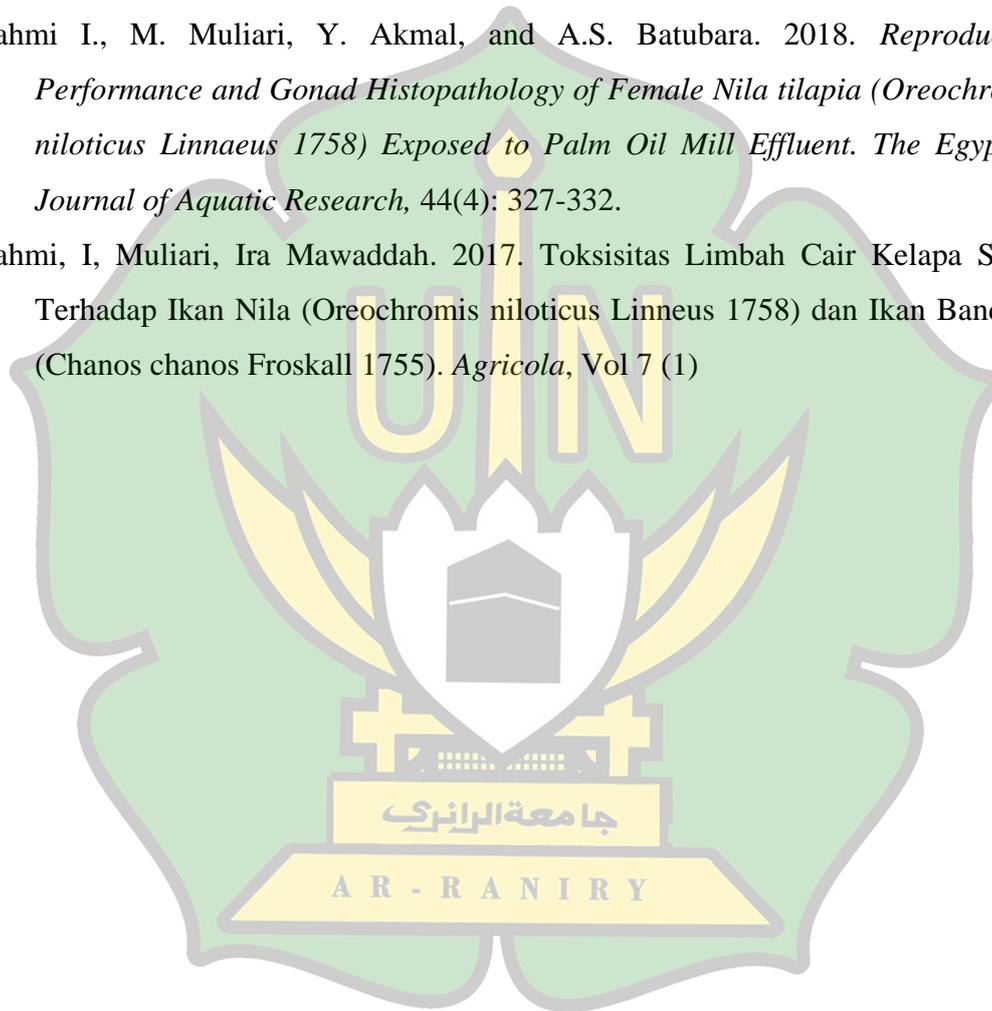
- Abdillah, M Helmy. 2021. Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan berbagai Efektif Mikroorganisme Lokal. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*. Vol 6 No. 1
- Balu M, Lingadurai K, Shanmugam P, Raja K, Teja NB, Vijayan V. 2020. *Biodiesel production from Caulerpa racemosa (macroalgae) oil*. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*. 49(4):616-621.
- Bursali EA, Cavas L, Seki Y, Bozkurt SS, Yurdakoc M. 2009. *Sorption of boron by invasive marine seaweed: Caulerpa racemosa var. cylindracea*. *Chemical Engineering Journal*. 150(2- 3):385-390.
- Bursali EA, Cavas L, Seki Y, Bozkurt SS, Yurdakoc M. 2009. *Sorption of boron by invasive marine seaweed: Caulerpa racemosa var. cylindracea*. *Chemical Engineering Journal*. 150(2- 3):385-390.
- Dermawan, A. (2020). Pemanfaatan Air Laut sebagai Koagulan Alami dalam Menurunkan Parameter pH, Suhu, Total Suspended Solid (TSS) dan Turbiditas pada Limbah Cair Domestik. *Doctoral dissertation, UIN AR-RANIRY*
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2018. Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017. Perkebunan Sawit. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Effendi H., J.A. Margaretha, and M. Krisanti. 2018. *Reducing Ammonia and Chromium Concentration in Batik Wastewater by Vetiver (Chrysopogon zizanioides L.) Grown in Floating Wetland*. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3): 2947-2956.
- Elystia S., A. Sasmita, dan Purwanti. 2014. Pengolahan Kandungan COD Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit oleh Typha Latifolia dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 11(2): 88-95.
- Elystia S., I. Darmayanti, dan S.R. Muria. 2019. Pengaruh Variasi Konsentrasi Bead Alga Chlorella sp. dalam Flat-Fotobioreaktor untuk Menyisihkan Nutrient pada *Palm Oil Mill Effluent* (POME). *Jurnal Sains dan Teknologi*, 18(1): 14-20.
- Fairolzukry AR, Sanagi MM, Ibrahim WAW, Naim AA. 2008. *Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Palm Oil Mill Effluent by Soxhlet Extraction*

- and Gas Chromatography-Flame Ionization Detection. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 12(1): 16-21.
- Gokulan R, Balaji S, Sivaprakasam P.2021. *Optimization of remazol black B removal using biochar produced from Caulerpa scalpelliformis using response surface methodology. Advances in Materials Science and Engineering*. 1-8.
- Hadiyanto, M. Christwardana, and D. Soetrisnanto. 2013. *Phytoremediation of Palm Oil Mill Effluent by Using Aquatic Plants and Microalge for Biomass Production. Journal of Environmental Science and Technology*, 6(2): 79-90.
- Harahap F., S. Leduc, S. Mesfun, D. Khatiwada, F. Kraxner, and S. Silveira. 2019. *Opportunities to Optimize the Palm Oil Supply Chain in Sumatra, Indonesia Energies*,12(420): 1-24.
- Ibrahim, M. 2006. *3rd Kuala Lumpur International Conference Engineering. Bio-Composting Process Development by SFF for Utilization Agro-Industrial Waste*. Springer Berlin Heidelberg, New York.
- Irvan.2012. *Pengolahan Lanjutan Limbah Cair Kelapa Sawit Secara Aerobik Menggunakan Effetive Microorganisme Guna Mengurangi Nilai TSS. Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(2): 27-30.
- Kadir AA, Abdullah SR, Othman BA, Hasan HA, Othman AR, Imron MF, Ismail NI, Kurniawan SB. 2020. *Dual function of Lemna minor and Azolla pinnata as phytoremediator for Palm Oil Mill Effluent and as feedstock. Chemosphere*. 259:127468.
- Kandi, R. Nila. 2019. *Fitoremediasi Limbah Cair Kelapa Sawit Menggunakan Kangkug Air (Ipomoea aquatic Forsk). Skripsi*
- S. Kantawanichkul, S. Pilaila, W. Tanapiyawanich, W. Tikampornpittaya, S. Kamkrua. 1999. *Wastewater Treatment by Tropical Plants in Vertical-flow Constructed Wetlands. Water Science and Technology*. Vol. 7 (1).
- Kumar A, Krishnamoorthy E, Devi HM, Uchoi D, Tejpal CS, Ninan G, Zynudheen AA. 2018. *Influence of sea grapes (Caulerpa racemosa) supplementation on physical, functional, and anti-oxidant properties of semi-sweet biscuits. Journal of Applied Phycology*. 30(2):1393-1403.
- Maulinda L. 2013. *Pengolahan Awal Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Secara Fisika. Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2(2): 31-41.

- Muliari M, I. Zulfahmi, Y. Akmal, N.W.K. Karja, C. Nisa, dan K.A. Sumon. 2019. *Effects of palm oil mill effluent on reproductive hormone of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758)*. Adv. Anim. Vet. Sci. 7(11): 1035-1041.
- Muliari, Y. Akmal, I. Zulfahmi, R. Juanda, N.W.K. Karja, and C. Nisa. 2018. *Histopathological changes in gill of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) after palm oil mill effluent exposure*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 216: 1–5.
- Muslimah. 2015. Dampak Pencemaran Tanah dan Langkah Pencegahan. *Jurnal Penelitian Agrisamudra*. Vol.2 No.1
- Nagappan T, Vairappan CS. 2014. *Nutritional and bioactive properties of three edible species of green algae, genus *Caulerpa* (Caulerpaceae)*. *Journal of Applied Phycology*. 26(2):1019-1027.
- Nagaraj SR, Osborne JW. 2014. *Bioactive compounds from *Caulerpa racemosa* as a potent larvicidal and antibacterial agent*. *Frontiers in biology*. 9(4):300-305.
- Negisa Darajeh, Azni Idris, Paul Truong, Astimar Abdul Aziz, Rosenani Abu Bakar, and Hasfalina CheMan. 2014. *Phytoremediation Potential of Vetiver System Technology for Improving the Quality of Palm Oil Mill Effluent*. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2014
- Notoatmodjo, S. 2011. *Kesehatan Masyarakat Ilmu dan Seni*. Jakarta: Edisi Revisi. PT. Rhineka Cipta.
- Nursanti, I. 2013. Karakteristik Limbah Cair Pabrik kelapa Sawit pada Proses Pengolahan Anaerob dan Aerob. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*. Vol. 13 No.4
- Pahan, I. 2007. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit: Manajemen Agribisnis dari Hulu Hingga Hilir*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Pangestuti R, Haq M, Rahmadi P, Chun BS. 2021. *Nutritional Value and Biofunctionalities of Two Edible Green Seaweeds (*Ulva lactuca* and *Caulerpa racemosa*) from Indonesia by Subcritical Water Hydrolysis*. *Marine Drugs*. 19(10):578.
- Pitoyo PNP, Artahana IW dan Sudarma IM. 2016. Kinerja Pengelolaan Limbah Hotel Peserta Proper dan Nonproper di Kabupaten Badung Provinsi Bali. *Ecotrophi*, 10(1): 33-40.

- Purwanti, S. Elystia, dan A. Sasmita. 2014. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan *Typha Latifolia*. *Jurnal Jom Fteknik*, 1(2): 1-9.
- Puspanti, A. 2013. Kajian Fitoremediasi Sebagai Salah Satu Pendukung Kegiatan Pengelolaan Lahan Paska Penambangan Batubara. *Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian* .149-155.
- Puspitasari W, Jusadi D, Setiawati M, Ekasari J, Nur A, Sumantri I. 2019. *Utilization of green algae Caulerpa racemosa as feed ingredient for tiger shrimp Penaeus monodon*. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 18(2):162-71.
- Rahardjo S, Soepardjo AH, Djokosetiyanto D, Alamsyah AT. 2018. *Seaweed utilization for phytoremediation of Litopenaeus vannamei shrimp farming waste in recirculation systems (environmentally friendly design of sustainable shrimp culture)*. In *Sustainable Future for Human Security*
- Relf D. 1996. *Plant Actually Clean the Air*. Blacksburg: *Consumer Horticulture, Virginia Tech*.
- Sarada B, Prasad MK, Kumar KK, Murthy CV. 2014. *Potential use of Caulerpa fastigiata biomass for removal of lead: kinetics, isotherms, thermodynamic, and characterization studies*. *Environmental Science and Pollution Research*. 21(2):1314-1325.
- Siahaan DO, Mantiri DM, Rumengan A. 2015. Kajian Awal Fitoremediasi Merkuri pada *Caulerpa serrulata* dan *halimeda macroloba* dari Perairan Teluk Totok. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. Vol 3(2):8-14
- Silalahi BM dan Supijanto. 2010. Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Angsana Estae Kalimantan Selatan. *Buletin Agrohorti*, 5(3): 373-383.
- Sitorus, Y Rumondang dan Mardina, V. 2020. Karakteristik Kimia dari Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit PTPN Y. *Jurnal EnviScience*. Vol. 4 No.2
- Sivaprakash G, Mohanrasu K, Obeth J, Bora A, Yuvakkumar R, Mahmoud AH, El-Abedein AI, Saravanan S, Arun A. 2020. *Zinc based iron mixed oxide catalyst for biodiesel production from *Enteromorpha intestinalis*, *Caulerpa racemosa* and *Hypnea musiciformis* and antibiofilm analysis using leftover catalyst after transesterification*. *Journal of King Saud University- Science*. 32(2):1604-1611.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.

- Syamriati. 2021. Kajian Dampak Limbah Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Perairan Sungai Budong-Budong Sulawesi Barat. *Jurnal Ecosolum*. Vol. 10 No. 1
- Wahyudi, Akmal, dan Neliyat. 2018. Pengaruh Pemberian Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.)Merril) pada Tanah Ultisol. *Artikel Ilmiah Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jambi*: 1-13
- Widjajanti E. 2009. Penanganan Limbah Laboratorium Kimia Kegiatan PPM Prodi Dik Kim. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA UNY.
- Zulfahmi I., M. Muliari, Y. Akmal, and A.S. Batubara. 2018. *Reproductive Performance and Gonad Histopathology of Female Nila tilapia (Oreochromis niloticus Linnaeus 1758) Exposed to Palm Oil Mill Effluent. The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(4): 327-332.
- Zulfahmi, I, Muliari, Ira Mawaddah. 2017. Toksisitas Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* Linneus 1758) dan Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Froskall 1755). *Agricola*, Vol 7 (1)



LAMPIRAN A

PENGOLAHAN DATA

Analisis data menggunakan SPSS

COD 0-5 hari

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Hasil

LSD

(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol	treatment A	-21.35333 [*]	.61463	.000	-22.7228	-19.9839
	treatment B	-17.18433 [*]	.61463	.000	-18.5538	-15.8149
	treatment C	1.03233	.61463	.124	-.3371	2.4018
	treatment D	.04233	.61463	.946	-1.3271	1.4118
treatment A	kontrol	21.35333 [*]	.61463	.000	19.9839	22.7228
	treatment B	4.16900 [*]	.61463	.000	2.7995	5.5385
	treatment C	22.38567 [*]	.61463	.000	21.0162	23.7551
	treatment D	21.39567 [*]	.61463	.000	20.0262	22.7651
treatment B	kontrol	17.18433 [*]	.61463	.000	15.8149	18.5538
	treatment A	-4.16900 [*]	.61463	.000	-5.5385	-2.7995
	treatment C	18.21667 [*]	.61463	.000	16.8472	19.5861
	treatment D	17.22667 [*]	.61463	.000	15.8572	18.5961
treatment C	kontrol	-1.03233	.61463	.124	-2.4018	.3371
	treatment A	-22.38567 [*]	.61463	.000	-23.7551	-21.0162
	treatment B	-18.21667 [*]	.61463	.000	-19.5861	-16.8472
	treatment D	-.99000	.61463	.138	-2.3595	.3795

treatment D	kontrol	-.04233	.61463	.946	-1.4118	1.3271
	treatment A	-21.39567*	.61463	.000	-22.7651	-20.0262
	treatment B	-17.22667*	.61463	.000	-18.5961	-15.8572
	treatment C	.99000	.61463	.138	-.3795	2.3595

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

COD 0-10 hari

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Hasil

LSD

(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol	treatment A	-43.35833*	.70944	.000	-44.9391	-41.7776
	treatment B	-36.48833*	.70944	.000	-38.0691	-34.9076
	treatment C	-9.75433*	.70944	.000	-11.3351	-8.1736
	treatment D	-7.88300*	.70944	.000	-9.4637	-6.3023
treatment A	kontrol	43.35833*	.70944	.000	41.7776	44.9391
	treatment B	6.87000*	.70944	.000	5.2893	8.4507
	treatment C	33.60400*	.70944	.000	32.0233	35.1847
	treatment D	35.47533*	.70944	.000	33.8946	37.0561
treatment B	kontrol	36.48833*	.70944	.000	34.9076	38.0691
	treatment A	-6.87000*	.70944	.000	-8.4507	-5.2893
	treatment C	26.73400*	.70944	.000	25.1533	28.3147
	treatment D	28.60533*	.70944	.000	27.0246	30.1861
treatment C	kontrol	9.75433*	.70944	.000	8.1736	11.3351
	treatment A	-33.60400*	.70944	.000	-35.1847	-32.0233

treatment B		-26.73400*	.70944	.000	-28.3147	-25.1533
treatment D		1.87133*	.70944	.025	.2906	3.4521
treatment D	kontrol	7.88300*	.70944	.000	6.3023	9.4637
treatment A		-35.47533*	.70944	.000	-37.0561	-33.8946
treatment B		-28.60533*	.70944	.000	-30.1861	-27.0246
treatment C		-1.87133*	.70944	.025	-3.4521	-.2906

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Pengaruh waktu COD

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Hari ke 5 control - H10cntrl	1.47200	1.28917	.74430	-1.73047	4.67447	1.978	2	.187
Pair 2	Hari ke 5 Treatment A - Hari ke 10 Treatment A	-20.533 00	1.47961	.85425	-24.20854	-16.85746	-24.03 6	2	.002
Pair 3	Hari ke 5 Treatment B - Hari ke 10 Treatment B	-17.832 00	.65193	.37639	-19.45150	-16.21250	-47.37 6	2	.000
Pair 4	Hari ke 5 Treatment C - Hari ke 10 Treatment C	-9.3146 7	.68486	.39540	-11.01595	-7.61339	-23.55 7	2	.002
Pair 5	Hari ke 5 Treatment D - Hari ke 10 Treatment D	-6.4533 3	.22965	.13259	-7.02382	-5.88284	-48.67 1	2	.000

TSS 0-5 hari

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Hasil

LSD

(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol	treatment A	1.67133	1.37643	.253	-1.3955	4.7382
	treatment B	-17.53600*	1.37643	.000	-20.6029	-14.4691
	treatment C	-5.68433*	1.37643	.002	-8.7512	-2.6175
	treatment D	.85167	1.37643	.550	-2.2152	3.9185
treatment A	kontrol	-1.67133	1.37643	.253	-4.7382	1.3955
	treatment B	-19.20733*	1.37643	.000	-22.2742	-16.1405
	treatment C	-7.35567*	1.37643	.000	-10.4225	-4.2888
	treatment D	-.81967	1.37643	.565	-3.8865	2.2472
treatment B	kontrol	17.53600*	1.37643	.000	14.4691	20.6029
	treatment A	19.20733*	1.37643	.000	16.1405	22.2742
	treatment C	11.85167*	1.37643	.000	8.7848	14.9185
	treatment D	18.38767*	1.37643	.000	15.3208	21.4545
treatment C	kontrol	5.68433*	1.37643	.002	2.6175	8.7512
	treatment A	7.35567*	1.37643	.000	4.2888	10.4225
	treatment B	-11.85167*	1.37643	.000	-14.9185	-8.7848
	treatment D	6.53600*	1.37643	.001	3.4691	9.6029
treatment D	kontrol	-.85167	1.37643	.550	-3.9185	2.2152
	treatment A	.81967	1.37643	.565	-2.2472	3.8865
	treatment B	-18.38767*	1.37643	.000	-21.4545	-15.3208
	treatment C	-6.53600*	1.37643	.001	-9.6029	-3.4691

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

TSS 0-10 hari

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Hasil

LSD

(I) Perlakuan	(J) Perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
kontrol	treatment A	-11.45833*	1.28962	.000	-14.3318	-8.5849
	treatment B	-32.92300*	1.28962	.000	-35.7965	-30.0495
	treatment C	-9.70067*	1.28962	.000	-12.5741	-6.8272
	treatment D	-1.30100	1.28962	.337	-4.1745	1.5725
treatment A	kontrol	11.45833*	1.28962	.000	8.5849	14.3318
	treatment B	-21.46467*	1.28962	.000	-24.3381	-18.5912
	treatment C	1.75767	1.28962	.203	-1.1158	4.6311
	treatment D	10.15733*	1.28962	.000	7.2839	13.0308
treatment B	kontrol	32.92300*	1.28962	.000	30.0495	35.7965
	treatment A	21.46467*	1.28962	.000	18.5912	24.3381
	treatment C	23.22233*	1.28962	.000	20.3489	26.0958
	treatment D	31.62200*	1.28962	.000	28.7485	34.4955
treatment C	kontrol	9.70067*	1.28962	.000	6.8272	12.5741
	treatment A	-1.75767	1.28962	.203	-4.6311	1.1158
	treatment B	-23.22233*	1.28962	.000	-26.0958	-20.3489
	treatment D	8.39967*	1.28962	.000	5.5262	11.2731
treatment D	kontrol	1.30100	1.28962	.337	-1.5725	4.1745
	treatment A	-10.15733*	1.28962	.000	-13.0308	-7.2839

treatment B	-31.62200*	1.28962	.000	-34.4955	-28.7485
treatment C	-8.39967*	1.28962	.000	-11.2731	-5.5262

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Hari ke 5 control - H10cntrl	-2.29533	.00751	.00433	-2.31398	-2.27669	-529.692	2	.000
Pair 2	Hari ke 5 Treatment A - Hari ke 10 Treatment A	-15.43700	1.32014	.76218	-18.71641	-12.15759	-20.254	2	.002
Pair 3	Hari ke 5 Treatment B - Hari ke 10 Treatment B	-120.68233	178.41763	103.00947	-563.89629	322.53163	-1.172	2	.000
Pair 4	Hari ke 5 Treatment C - Hari ke 10 Treatment C	-6.31167	.92988	.53687	-8.62161	-4.00172	-11.757	2	.007
Pair 5	Hari ke 5 Treatment D - Hari ke 10 Treatment D	-4.44800	.97001	.56003	-6.85763	-2.03837	-7.942	2	.015

LAMPIRAN B
DOKUMENTASI PENELITIAN

GAMBAR	KETERANGAN
	<p>Pengambilan sampel di PT.Beurata Subur Persada</p>
	<p>Mengambil sampel untuk di dinginkan</p>
	<p>Kolam limbah ke 4 di PT.Beurata Subur Persada</p>



Lawi lawi yang diambil dari Balai Perikanan Air Payau, Neuhén



Potohan karang yang diambil dari laut Balai Perikanan Air Payau, Neuhén



Mengambil sampel air laut di Balai Perikanan Air Payau, Neuhén



Mengukur pH limbah cair kelapa sawit



Memilah lawi lawi yang segar untuk dimasukkan ke styrofoam



Melakukan uji tetrimetri atau tes COD pada sampel limbah di Laboratorium



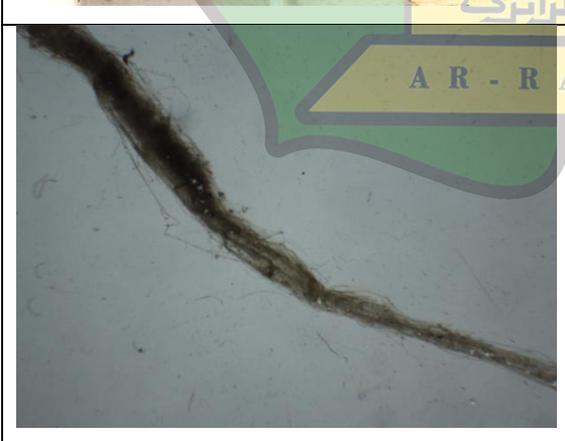
Melakukan uji TSS limbah cair kelapa sawit di Laboratorium



Memasukkan sampel kertas saring limbah yang telah di inkubasi ke oven untuk diuji TSS



Sampel limbah yang akan di panaskan untuk uji COD

	<p>Sampel limbah cair kelapa sawit pada hari ke 10</p>
	<p>Sampel limbah cair kelapa sawit pada hari ke 5</p>
	<p>Tampak akar lili lili di foto menggunakan mikroskop</p>