

**PEMODELAN KINETIKA FITOREMEDIASI ASAM SULFAT
(H₂SO₄) DI DALAM AIR HUJAN DENGAN TUMBUHAN
Typha Latifolia
(Studi Kasus Pengolahan Air Hujan Asam dari Sekitar Industri
Batu Bata di Kajhu, Aceh Besar)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

**TEUKU SYAHKUMALA
NIM. 160702090
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM - BANDA ACEH
2021 M / 1442 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**PEMODELAN KINETIKA FITOREMEDIASI ASAM SULFAT (H₂SO₄)
DI DALAM AIR HUJAN DENGAN TUMBUHAN**

Typha latifolia

**(Studi Kasus Pengolahan Air Hujan Asam dari Sekitar Industri
Batu Bata di Kajhu, Aceh Besar)**

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:

Teuku Syahkumala

NIM. 160702090

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar- Raniry Banda Aceh

Banda Aceh, 26 Juli 2021

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901

Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202

Mengetahui,
**Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh**

Nur Aida

Dr. Eng Nur Aida, M.Si.
NIDN. 2016067801

**PEMODELAN KINETIKA FITOREMEDIASI ASAM SULFAT (H₂SO₄)
DI DALAM AIR HUJAN DENGAN TUMBUHAN
Typha latifolia
(Studi Kasus Pengolahan Air Hujan Asam dari Sekitar Industri
Batu Bata di Kajhu, Aceh Besar)**

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: Senin, 26 Juli 2021
16 Dzulhijah 1442

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

Sekretaris,


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901


Aulia Rohendi, M.Sc.
NIDN. 2010048202

Penguji I,

Penguji II,


Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 230004022


Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIDN. 230005660

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




Dr. Azhar Amsal, M.Pd
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Teuku Syahkumala
NIM : 160702090
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Pemodelan Kinetika Fitoremediasi Asam Sulfat (H_2SO_4) di dalam Air Hujan dengan Tumbuhan *Typha latifolia* (Studi Kasus Pengolahan Air Hujan Asam dari Sekitar Industri Batu Bata di Kajhu, Aceh Besar)

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

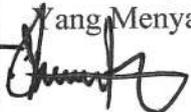
1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

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 melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.



Banda Aceh, 26 Juli 2021

Yang Menyatakan,


Teuku Syahkumala
NIM: 160702090

ABSTRAK

Nama : Teuku Syahkumala
NIM : 160702090
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pemodelan Kinetika Fitoremediasi Asam Sulfat (H_2SO_4)
di Dalam Air Hujan dengan Tumbuhan *Typha Latifolia*
(Studi Kasus Pengolahan Air Hujan Asam dari Sekitar
Industri Batu Bata di Kajhu, Aceh Besar)
Tanggal Sidang : 2021
Jumlah Halaman : 72
Pembimbing I : Dr. Abdullah Mujahid Hamdan M.Sc.
Pembimbing II : Aulia Rohendi, M.Sc.
Kata Kunci : Fitoremediasi, hujan asam, *Typha Latifolia*, pemodelan
kinetika,

Hujan asam terjadi diakibatkan tingginya gas sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2) di dalam atmosfer yang mengalami difusi dan bereaksi dengan air akan membentuk zat-zat kimia lain termasuk asam sulfat (H_2SO_4). Fitoremediasi merupakan salah satu sistem pengolahan dengan memanfaatkan tanaman agar mengubah zat pencemar/polutan menjadi berkurang dan tidak berbahaya. Tumbuhan *typha latifolia* ini dapat bertahan hidup di habitat yang memiliki tingkat keasaman pH 4 - 10 dan telah diketahui dapat menyerap limbah asam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tumbuhan *Typha Latifolia* dalam mereduksi hujan asam. Penanaman tumbuhan *Typha Latifolia* dalam penelitian ini dibedakan menjadi 2 reaktor, pada reaktor pertama 5 tumbuhan dan reaktor kedua 10 tumbuhan. Eksperimen dilakukan dengan membuat sistem penanaman hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*), media tanam menggunakan *rockwool*. Penelitian ini dilakukan selama 10 hari perlakuan dengan waktu pengambilan sampel relatif sama. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan jumlah tumbuhan mempengaruhi efektivitas dan kapasitas dalam mereduksi. Masing-masing reaktor fitoremediasi memiliki efektivitas yang berbeda dalam mereduksi H_2SO_4 dan menetralkan pH. Hasil menunjukkan 51,30% H_2SO_4 dan menetralkan pH 7,6 untuk 5 tumbuhan dan 77,70% H_2SO_4 dan menetralkan pH 7,8 untuk 10 tumbuhan. Perbandingan pemodelan kinetika dilakukan untuk menentukan model kinetik mana dalam literatur yang paling sesuai dengan data yang diperoleh dalam penelitian. Perbandingan yang dilakukan antara reaktor 5 tumbuhan dan 10 tumbuhan dalam kinetika orde 0. penyisihan dan penyerapan H_2SO_4 dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Batas maksimum hasil yang paling optimal terjadi di hari ke-6 pada grafik pemodelan 10 tumbuhan.

ABSTRACT

Name : Teuku Syahkumala
NIM : 160702090
Department : Environmental Engineering
Title : Kinetic Modeling of sulfuric acid (H_2SO_4)
phytoremediation in rainwater with typha latifolia
(Case Study of Acid Rain Water Treatment from
Aroind the Brick Industry in Kajhu, Aceh Besar)
Date of Session : 2021
Number of pages : 72
Advisor I : Dr. Abdullah Mujahid Hamdan M.Sc.
Advisor II : Aulia Rohendi, M.Sc.
Keywords : *Phytoremediation, acid rain, Typha Latifolia, Kinetic modeling*

Acid rain occurs due to the high gas sulfur dioxide (SO_2) and nitrogen dioxide (NO_2) in the atmosphere which diffuses and reacts with water to form other chemicals including sulfuric acid (H_2SO_4). Phytoremediation is one of the processing systems by utilizing plants to convert pollutants into less and harmless ones. Typha latifolia plant can survive in habitats that have an acidity level of pH 4 - 10 and has been known to absorb acidic waste. This study aims to determine the ability of Typha Latifolia plants in reducing acid rain. Planting Typha Latifolia in this study was divided into 2 reactors, in the first reactor there were 5 plants, and the second reactor had 10 plants. Experiments were carried out by making a hydroponic planting system NFT (Nutrient Film Technique), planting media using Rockwool. This research was conducted for 10 days of treatment with relatively the same sampling time. The results showed that the difference in the number of plants affected the effectiveness and capacity in reducing. Each phytoremediation reactor has different effectiveness in reducing H_2SO_4 and neutralizing pH. The results showed 51.30% H_2SO_4 and neutralized pH 7.6 for 5 plants and 77.70% H_2SO_4 and neutralized pH 7.8 for 10 plants. Comparison of kinetic modeling was carried out to determine which kinetic model in the literature best fits the data obtained in the study. The comparisons made between the 5 plants and 10 plants reactors in order 0 kinetics of removal and absorption of H_2SO_4 can be seen as shown in Figure 4.10. The maximum limit of the most optimal results occurs on day-to-6 on the graphic modeling of 10 plants.

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah SWT, Dia-lah yang telah menganugerahkan Al-Qur'an sebagai petunjuk bagi seluruh umat manusia dan rahmatan lil'alamin (rahmat bagi segenap alam). Dia-lah yang Maha Mengetahui makna dan maksud kandungan Al-Qur'an. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW utusan dan manusia pilihan, dialah penyampai pengamal dan penafsir pertama Al-Qur'an. Dengan pertolongan dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

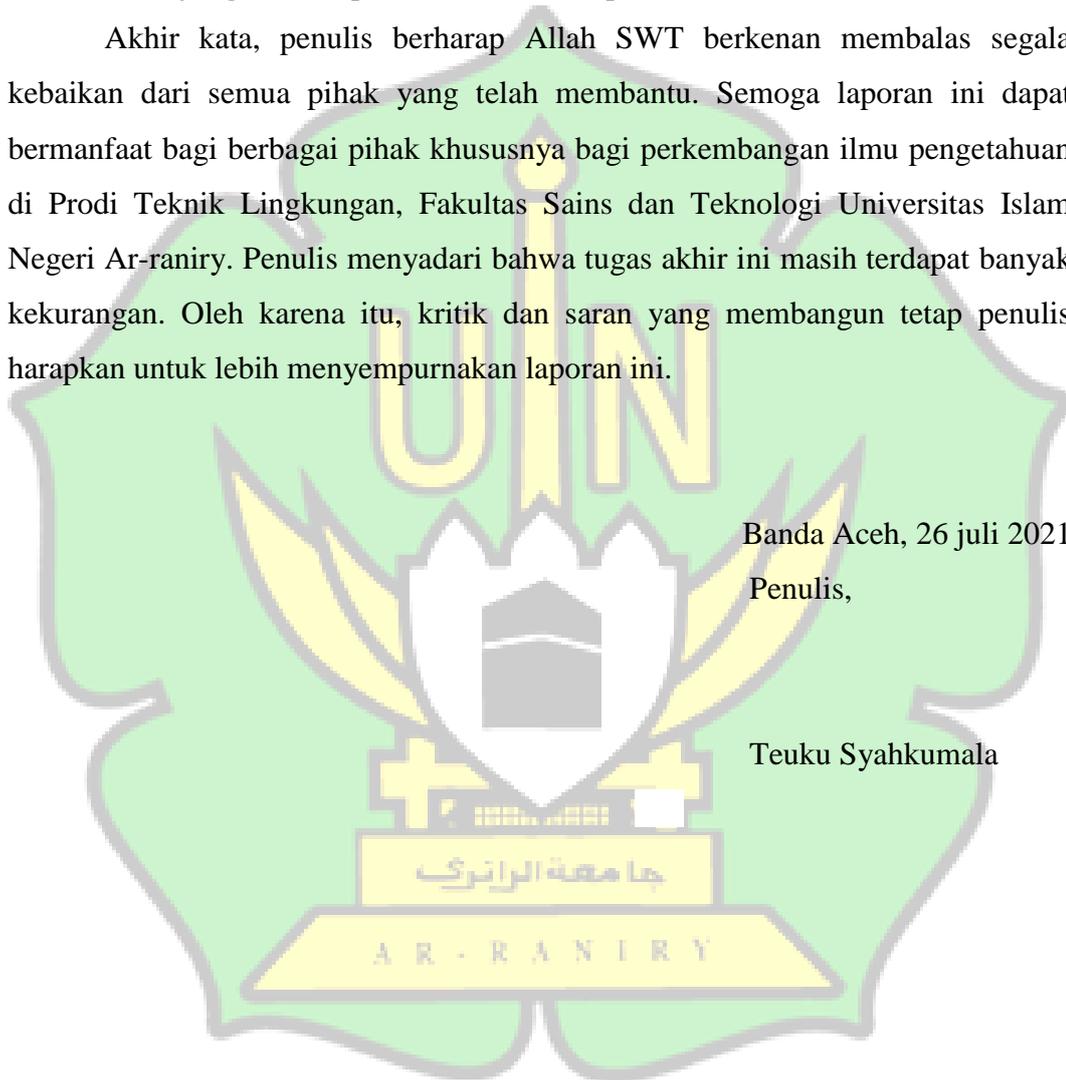
1. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan dan doanya selama ini.
2. Dr. Eng. Nur Aida, M.Si selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, pembimbing akademik yang telah membantu segala arahan dan bimbingannya, dan juga koordinator Tugas Akhir.
4. Dr. Abd Mujahid Hamdan M.Sc., selaku dosen pembimbing I tugas akhir Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
5. Bapak Aulia Rohendi, ST, M.Sc., selaku dosen pembimbing II tugas akhir Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
6. Seluruh Dosen Prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan membagi ilmunya kepada penulis.
7. Ibu Idariani yang telah banyak membantu dalam proses administrasi.
8. Ibu Nurul Huda S.Pd, yang sudah banyak membantu dalam proses penelitian dan administrasi.

9. Seluruh staf tata usaha yang telah membantu dalam pengurusan administrasi.
10. Seluruh teman seperjuangan angkatan 2016 yang telah membantu dan menuntun dalam proses pembuatan laporan.
11. Dan semua pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khusus bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-raniry. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun tetap penulis harapkan untuk lebih menyempurnakan laporan ini.

Banda Aceh, 26 juli 2021
Penulis,

Teuku Syahkumala



DAFTAR ISI

	Halaman
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
DAFTAR SINGKATAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah Asam Sulfat (H ₂ SO ₄).....	5
2.2 Hujan Asam	6
2.3 Fitoremediasi dan Aklimatisasi	7
2.4 <i>Typha Latifolia</i>	10
2.5 Hidroponik NFT (<i>Nutrient Film Technique</i>)	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Tahapan Penelitian.....	13
3.2 Tanaman.....	14
3.3 Bahan Eksperimen	14
3.4 Lokasi Pengambilan Sampel Air Hujan.....	15

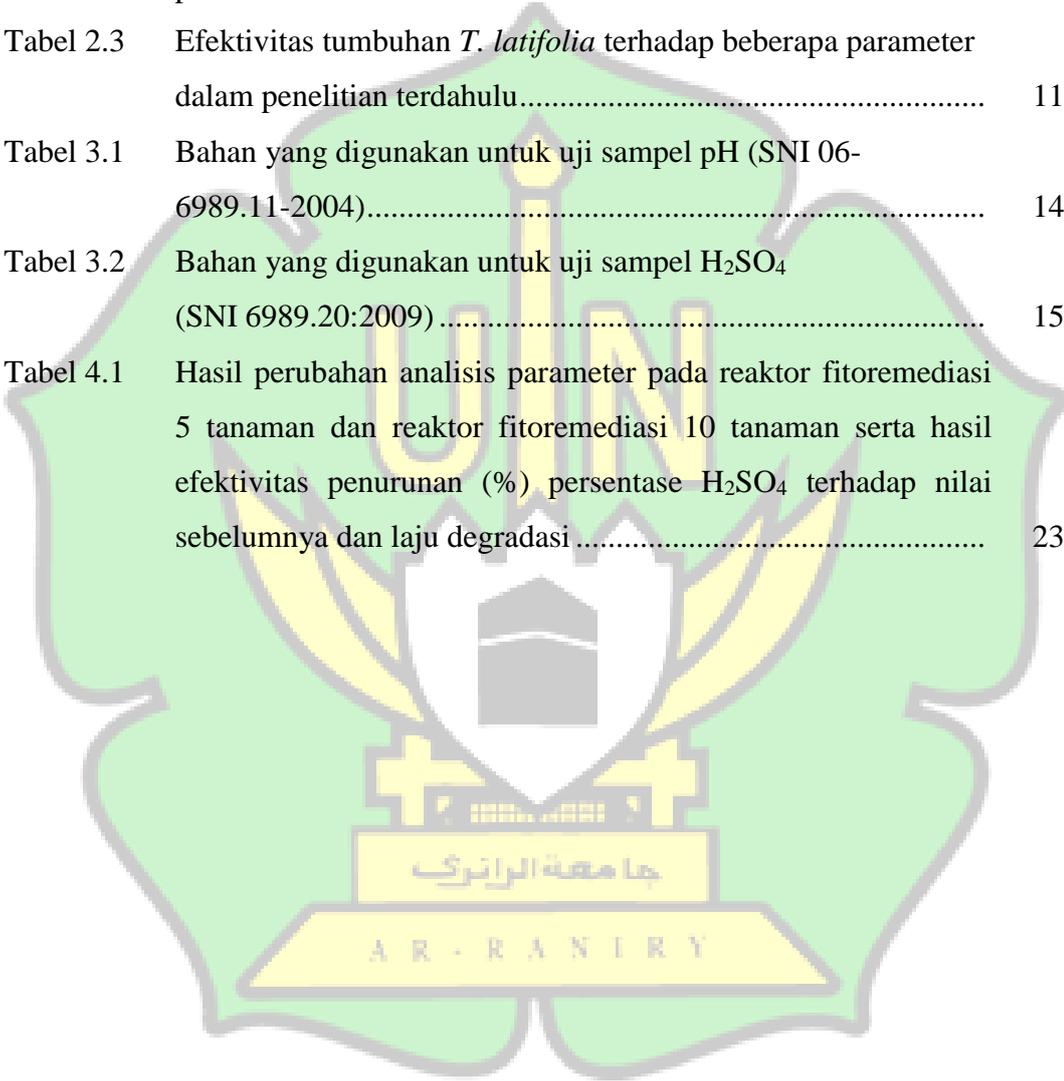
3.5	Metode Pengambilan Sampel Air Hujan	16
3.6	Tahap Persiapan	16
3.6.1	Persiapan reaktor fitoremediasi.....	16
3.6.2	Aklimatisasi	17
3.7	Ekspirimen	17
3.7.1	Penyiapan pra-eksperimen	17
3.7.2	Tahapan eksperimen	18
3.8	Pengukuran Parameter Air Bersih	19
3.8.1	Pengukuran parameter asam sulfat (H ₂ SO ₄).....	19
3.8.2	Pengukuran Parameter pH	20
3.9	Analisis Data.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		23
4.1	Hasil	23
4.2	Pembahasan.	25
4.2.1	Efektivitas fitoremediasi dengan <i>T. latifolia</i> dalam menurunkan asam sulfat (H ₂ SO ₄) dan menormalkan pH	25
4.2.2	Kinetika reaksi penyerapan H ₂ SO ₄ pada tumbuhan <i>Typha Latifolia</i>	33
4.2.3	Perbandingan pemodelan kinetika penyisihan dan penyerapan H ₂ SO ₄	35
BAB V PENUTUP.....		37
5.1	Simpulan	37
5.2	Saran	38
DAFTAR PUSTAKA		39
LAMPIRAN.....		43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses Terjadinya Hujan Asam Secara Kimia.....	6
Gambar 2.2 <i>Typha Latifolia</i>	10
Gambar 2.3 Sistem <i>Nutrient Film Technique</i>	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 3.2 <i>Typha Latifolia</i>	14
Gambar 3.3 Peta Daerah Pengambilan Sampel.....	15
Gambar 3.4 Pengambilan sampel air hujan asam (a). Kondisi lapangan (b)	16
Gambar 3.5 Persiapan reaktor fitoremediasi (a),persiapan tanaman (b).....	16
Gambar 3.6 Proses Aklimatisasi	17
Gambar 3.7 <i>Rockwool</i>	18
Gambar 3.8 Alat Spektrofotometri UV-VIS	19
Gambar 3.9 pH Meter	20
Gambar 4.1 Grafik perubahan hasil pengujian (a) penurunan H ₂ SO ₄ dan (b) penetralan pH terhadap waktu.	24
Gambar 4.2 Grafik persentase penurunan H ₂ SO ₄ terhadap konsentrasi awal terhadap waktu.....	26
Gambar 4.3 Grafik laju degradasi parameter H ₂ SO ₄ per-hari	27
Gambar 4.4 Grafik fase awal laju degradasi H ₂ SO ₄	28
Gambar 4.5 Grafik fase ke-2 laju degradasi H ₂ SO ₄	29
Gambar 4.6 Grafik fase ke-3 laju degradasi H ₂ SO ₄	29
Gambar 4.7 Grafik persentase penurunan pH terhadap konsentrasi awal terhadap waktu.....	31
Gambar 4.8. Diagram Persentase perbandingan efektivitas pengolahan H ₂ SO ₄ (a), dan penetralan pH (b).....	32
Gambar 4.9. Grafik kinetika 5 tumbuhan reaksi orde 0 (a) dan orde 1 (b) dan grafik kinetika 10 tumbuhan orde 0 (c) dan orde 1 (d)	34
Gambar 4.10 Grafik pemodelan kinetika penurunan, penyisihan dan penyerapan H ₂ SO ₄ . (a) Model 5 tumbuhan dan (b) model 10 tumbuhan	35

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Baku Mutu Asam Sulfat (H_2SO_4), dan pH Berdasarkan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017.....	6
Tabel 2.2 efektivitas fitoremediasi terhadap beberapa parameter dalam penelitian terdahulu.....	8
Tabel 2.3 Efektivitas tumbuhan <i>T. latifolia</i> terhadap beberapa parameter dalam penelitian terdahulu.....	11
Tabel 3.1 Bahan yang digunakan untuk uji sampel pH (SNI 06-6989.11-2004).....	14
Tabel 3.2 Bahan yang digunakan untuk uji sampel H_2SO_4 (SNI 6989.20:2009).....	15
Tabel 4.1 Hasil perubahan analisis parameter pada reaktor fitoremediasi 5 tanaman dan reaktor fitoremediasi 10 tanaman serta hasil efektivitas penurunan (%) persentase H_2SO_4 terhadap nilai sebelumnya dan laju degradasi.....	23



DAFTAR SINGKATAN

Lambang	Kepanjangan	Halaman
SO ₂	Sulfur Dioksida	1
NO ₂	Nitrogen Dioksida	1
H ₂ SO ₄	Asam Sulfat	1
pH	<i>Power of Hidrogen</i>	1
O ₃	Ozon	2
PM10	Partikulat	2
CO	Karbon Monoksida	5
NO _x	Nitrogen Oksida	5
N ₂ O	Dinitrogen Oksida	5
CH ₄	Metana	5
BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>	7
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	7
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>	7
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i>	10
SNI	Standar Nasional Indonesia	13
SPSS	<i>Statistical products and solution services</i>	20

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penyediaan air bersih mulai diperhatikan lebih serius di negara berkembang termasuk Indonesia, karena air yang bersih merupakan kebutuhan yang paling penting bagi umat manusia untuk kehidupan (Yulistyorini, 2011). Air pada bumi memiliki beragam sumbernya mulai dari sungai, danau, air tanah dan juga salah satunya adalah hujan. Hujan merupakan sumber pemasokan air yang berlimpah sepanjang tahun. Namun, air hujan di banyak tempat hanya dibiarkan terbuang begitu saja tanpa adanya pengolahan lebih lanjut (Rahim dkk., 2018).

Di lain sisi, aktivitas manusia seperti industri, asap kendaraan dan pembakaran terus terjadi sehingga mengakibatkan terbentuknya reaksi kimia pada hujan menjadi larutan asam. Asam terkumpul dan disimpan bersamaan dengan zat kimia lainnya membentuk awan dan turun ke bumi sebagai hujan yang disebut sebagai hujan asam (Yatim, 2007 dan Cahyono, 2007). Hujan asam terjadi diakibatkan tingginya gas sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2) di dalam atmosfer yang mengalami difusi dan bereaksi dengan air akan membentuk zat-zat kimia lain termasuk asam sulfat (H_2SO_4). Asam tersebut kemudian jatuh bersama dengan air hujan (Wardhani dkk., 2015).

Mengacu pada laporan Sarina dkk. (2015), pengukuran tingkat keasaman pada hujan di lokasi Kajhu, Aceh Besar menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tingkat keasaman pada titik-titik sampel yang telah diuji. Pada titik A, pH air hujan didapatkan hasil sebesar 5,45, pada titik B sebesar 5,11 dan di titik C mencapai 6,13. Menurut Permenkes RI No. 32¹ Tahun 2017, titik C memenuhi syarat pH dalam standar kualitas air bersih sedangkan titik A dan B tidak memenuhi syarat pH dalam standar kualitas air bersih. Hal ini diperkuat dengan hasil uji pendahuluan² yang dilakukan peneliti di daerah Kajhu, Aceh Besar pada lokasi yang sama dengan titik investigasi Sarina. (2015). Nilai pH air hujan

¹ Tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, solus per aqua dan pemandian air umum

² Pengambilan sampel dilakukan pada Minggu, 8 November 2020. Dokumentasi penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1.

sebesar 5,5 yang juga berarti tidak memenuhi standar baku mutu. Dengan demikian, untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan dari hujan asam, dibutuhkan pengembangan dan inovasi pada teknik pengolahan untuk menormalkan air hujan.

Kandungan asam dari hujan asam memiliki nilai pH di bawah 5,6 sedangkan kandungan basa memiliki nilai pH di atas 8,5 (Satriawan, 2018). Hujan asam memiliki dampak yang sangat besar di bumi, terutama pada margasatwa, hasil panen dan sumber air. Hujan asam juga dapat merusak hutan, gedung dan monumen-monumen. Selain itu, hujan asam juga berdampak buruk terhadap kesehatan dan keberlangsungan hidup manusia, karena dapat menyebabkan penyakit pernapasan dan penyakit kulit (Supriatin dkk., 2017). Menurut Yusuf. (2011), sulfur dioksida (SO_2) yang terkandung di dalam hujan asam juga dapat bereaksi secara kimia di dalam udara membentuk partikel halus sulfat, partikel sulfat yang halus itu akan diikat di dalam paru-paru dan akan menyebabkan penyakit pernafasan. Selain itu juga dapat mempertinggi terkena kanker kulit karena senyawa sulfat (H_2SO_4) mengalami kontak langsung terhadap kulit dan berujung pada kematian. Salah satu teknik pengolahan air hujan asam adalah menggunakan media fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman yang tahan terhadap tingkat keasaman yang tinggi (Sulthoni dkk., 2014).

Fitoremediasi merupakan salah satu sistem pengolahan dengan memanfaatkan suatu tanaman yang memiliki potensi bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media yang ditanam agar mengubah zat pencemar/polutan menjadi berkurang dan tidak berbahaya (Irhamni dkk., 2018). Indonesia memiliki keanekaragaman dan jenis tanaman yang berpotensi untuk mendegradasi dan mengakumulasi limbah salah satunya adalah tumbuhan *Typha latifolia* (Irhamni dkk., 2018). *T. latifolia* memiliki sistem perakaran yang banyak dan kuat yang dapat membantu menstabilisasi sungai dengan menyerap zat organik dan membatasi erosi tanah. Selain itu, *T. latifolia* bertindak layaknya spons yang menyerap kandungan senyawa kimia dari lingkungan sekitarnya (Evasari, 2012). Pengolahan limbah itu terjadi ketika air limbah melewati akar tumbuhan yang berisi bakteri (Cahyana dkk., 2019). Proses melibatkan bakteri ini terjadi karena

adanya proses enzimatik, pada proses ini larutan asam akan dipecahkan menjadi molekul-molekul kecil yang akan diserap oleh tumbuhan (Prayitno dkk., 2014).

Penanaman dengan menggunakan teknologi hidroponik merupakan konsep pertanian masa depan karena dapat diusahakan di berbagai tempat, baik di desa, di kota, di lahan terbuka, atau di atas apartemen sekaligus (Nugraha, 2018). Teknik penanaman hidroponik sangat beragam salah satunya dengan menggunakan sistem *Nutrient Film Technique*. Sistem NFT ini bertujuan untuk memberikan nutrisi terhadap tanaman dengan cara meletakkan akar tanaman pada lapisan air yang dangkal. Air terus melakukan sirkulasi yang membuat akar pada tanaman mendapatkan selapis larutan nutrisi sesuai dengan kebutuhannya (Wibowo dkk., 2013). Jenis tanaman yang ditanam juga memiliki fungsi seperti sayur-sayuran yang dapat dikonsumsi, penanaman dengan konsep pemulihan air, dan penanaman dengan bertujuan untuk keindahan pembangunan seperti jenis *Phragmites*, *Typha*, dan *Scirpus* (Corsita dkk., 2003). Namun, penanaman tumbuhan *Typha latifolia* sistem hidroponik NFT dalam mereduksi asam pada air hujan belum pernah dilakukan. Padahal menurut (Irhamni dkk., 2018) tumbuhan *T. latifolia* ini dapat bertahan hidup di habitat yang memiliki tingkat keasaman pH 4 - 10 dan telah diketahui dapat menyerap limbah asam (Cahyana dkk., 2019).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh waktu terhadap efektivitas fitoremediasi air hujan yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4) dengan tumbuhan *T. latifolia* ?
2. Bagaimana pengaruh jumlah tumbuhan terhadap efektivitas fitoremediasi air hujan yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4) dengan tumbuhan *T. latifolia* ?
3. Bagaimana model kinetika fitoremediasi air hujan yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4) dengan tumbuhan *T. latifolia* ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam rumusan masalah di atas sebagai berikut:

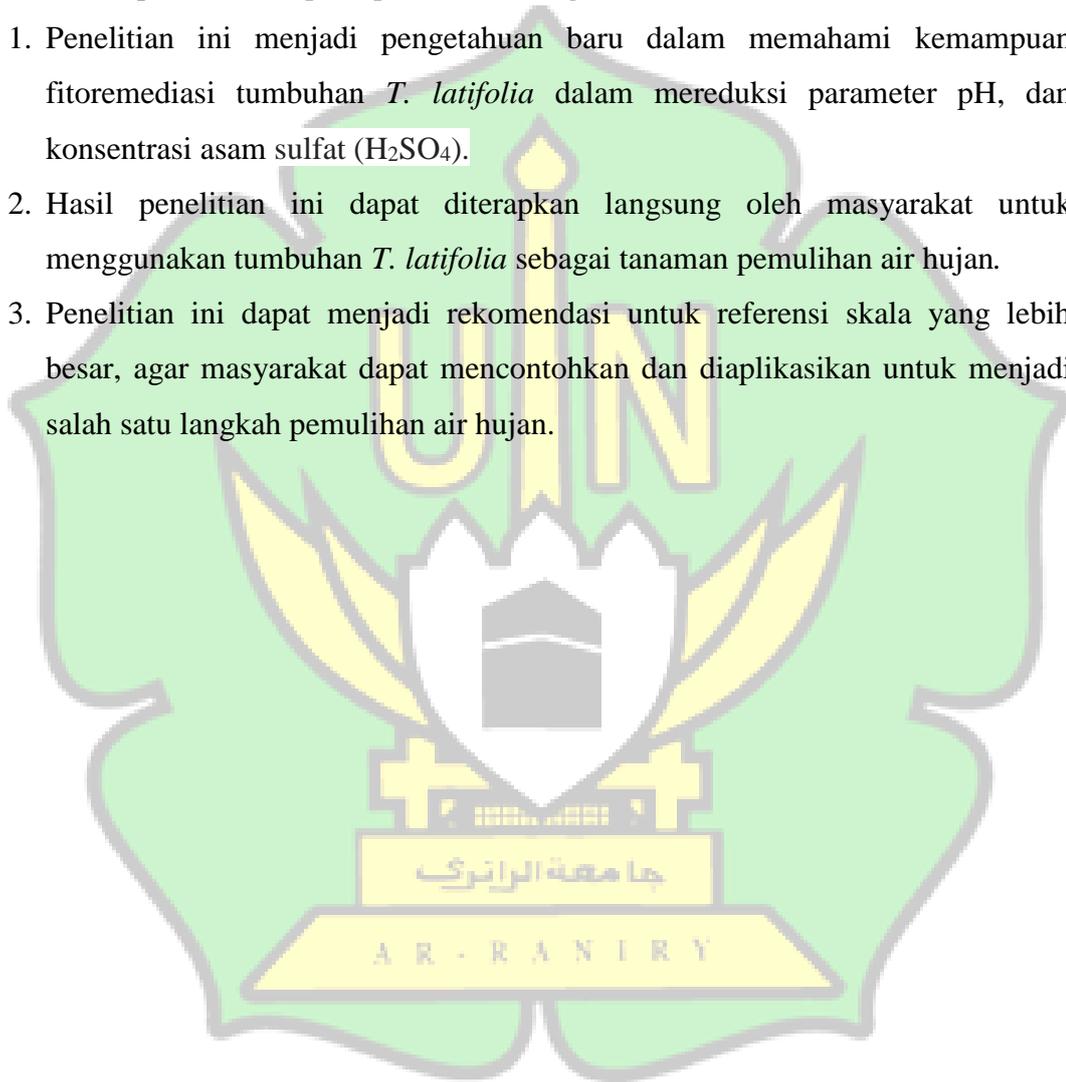
1. Untuk menganalisis pengaruh waktu terhadap efektivitas fitoremediasi air hujan yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4) dengan tumbuhan *T. latifolia*.

2. Untuk menganalisis pengaruh jumlah tumbuhan terhadap fitoremediasi air hujan yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4) dengan tumbuhan *T. latifolia*.
3. Untuk memodelkan kinetika fitoremediasi air hujan yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4) dengan tumbuhan *T. latifolia*.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini menjadi pengetahuan baru dalam memahami kemampuan fitoremediasi tumbuhan *T. latifolia* dalam mereduksi parameter pH, dan konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4).
2. Hasil penelitian ini dapat diterapkan langsung oleh masyarakat untuk menggunakan tumbuhan *T. latifolia* sebagai tanaman pemulihan air hujan.
3. Penelitian ini dapat menjadi rekomendasi untuk referensi skala yang lebih besar, agar masyarakat dapat mencontohkan dan diaplikasikan untuk menjadi salah satu langkah pemulihan air hujan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Asam Sulfat (H_2SO_4)

Aktivitas manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya seperti pertanian, industri dan kegiatan rumah tangga akan menghasilkan limbah yang memberi sumbangan pada penurunan kualitas air. Terjadinya peningkatan aktivitas manusia mengakibatkan adanya perubahan pada guna lahan dan semakin beragamnya produksi masyarakat perkotaan dapat menghasilkan beragam jenis limbah yang menjadikan beban pencemar di badan air (Mahyudin dkk., 2015). Bahan pencemar yang dapat menurunkan kualitas pada air salah satunya adalah asam sulfat (H_2SO_4). Pada dasarnya asam sulfat (H_2SO_4) dihasilkan dari kegiatan industri, asap kendaraan, dan pembakaran yang terus bereproduksi tanpa henti sehingga mengakibatkan terbentuknya reaksi kimia di udara lalu berkumpul pada atmosfer menghasilkan hujan larutan asam (Yatim, 2007).

Asam sulfat (H_2SO_4) juga bisa berbahaya jika terkandung secara berlebihan pada air hujan karena senyawa kimia organik sulfat (H_2SO_4) jika dilepaskan bebas ke alam merupakan sumber polusi lingkungan terbesar, yang berakibat pencemaran dan kerusakan lingkungan. Kandungan kimia hasil dari produksi alam dan manusia yang menyebabkan hujan asam, yaitu air hujan yang memiliki kandungan asam di dalamnya karena reaksi antara gas dengan air (Sukarsono, 2004). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per *Aqua*, Dan Pemandian Umum mengatur tentang baku mutu konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4), dan pengukuran parameter pH untuk keperluan kesehatan dengan cara memelihara dan melindungi kesehatan air, yang termasuk dalam parameter kimia air dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Baku Mutu Asam Sulfat (H_2SO_4), dan pH

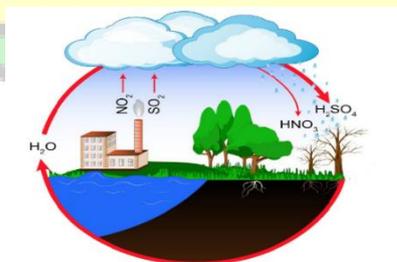
Parameter Kimia	Unit	Standar Baku (Kadar Maksimum)
AsamSulfat (H_2SO_4)	mg/l	400
pH	mg/l	6,5-8,5

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan RI No 32 Tahun 2017

2.2. Hujan Asam

Hujan asam ditemukan dan diperkenalkan pertama kali oleh Angus Smith saat dia menulis tentang “Polusi Industri Di Inggris” merupakan turunnya asam dalam bentuk hujan. Hujan asam merupakan permasalahan lingkungan yang berbahaya bagi manusia serta dapat mempengaruhi kehidupan manusia.. Hujan mengandung karbon dioksida (CO_2) di udara yang membuat hujan secara alami bersifat asam lalu larut dengan air hujan memiliki bentuk sebagai asam lemah. Jenis asam dalam hujan ini juga diperlukan sebagai pelarut mineral dalam tanah yang dibutuhkan oleh tumbuhan dan binatang (Cahyono dkk., 2007).

Hasil pembakaran bahan bakar dan biomassa yang diproduksi oleh manusia setiap harinya seperti sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), karbondioksida (CO_2), dinitrogen oksida (N_2O), nitrogen oksida (NO_x), metana (CH_4), hidrokarbon lain dan aerosol ke udara akan mempengaruhi konsentrasi ozon (O_3) sehingga menimbulkan terjadinya hujan asam. Zat-zat ini apabila dilepaskan ke atmosfer dan bereaksi dengan air akan membentuk asam-asam lainnya termasuk asam sulfat (H_2SO_4) dan kemudian jatuh bersama air hujan (Budiwati, 2004). Proses terjadinya hujan asam secara kimia dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Proses Terjadinya Hujan Asam Secara Kimia

Sumber: Yusuf (2011)

Dampak negatif hujan asam diantaranya kualitas air permukaan menjadi berkurang sehingga berdampak buruk bagi biota berupa flora dan fauna yang hidup di dalamnya. Penurunan pH air sungai akan mengancam keberlangsungan kehidupan populasi ikan dan biota air lainnya di perairan. Selain itu, hujan asam juga dapat merusak jaringan tanaman sehingga menghambat pertumbuhan tanaman dan dapat menyebabkan kematian pada tanaman. Bagi tanah, larutan yang terkandung di dalam hujan asam dapat melarutkan logam-logam berat sehingga logam berat akan larut dalam air tanah dan air permukaan. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas air sehingga air tanah dan air permukaan yang tercemar ini jika dikonsumsi dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan bagi tanaman, hewan dan manusia. Salah satu efek hujan asam bagi kesehatan manusia berupa penyakit pernapasan, kronik jantung dan meninggal (Yatim, 2007). Selain itu hujan asam bersifat korosif terhadap logam-logam sehingga dapat menimbulkan karatan hingga mengalami kerusakan terhadap berbagai logam seperti motor, mobil, pagar, monumen dan patung maupun bangunan. Nilai keasaman dari hujan asam tersebut memiliki nilai pH di bawah 5,6 (Satriawan, 2018).

Menurut UU No.32 Tahun 2009 pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang ditetapkan. Pencemar yang melebihi standarnya tidak dapat diproses menggunakan kemampuan alam dalam waktu singkat sehingga diperlukan pengelolaan agar menjadi senyawa-senyawa kimia yang lebih aman bagi lingkungan dan dibutuhkan oleh komponen-komponen alam. Komponen ini didekomposisi oleh mikroorganisme melalui reaksi kimia yang dikenal dengan biogeokimia (Satriawan, 2018).

2.3. Fitoremediasi dan Aklimatisasi

Fitoremediasi dalam kamus inggris memiliki istilah yaitu *phytoremediation*. *Phytoremediation* ini terbagi menjadi dua istilah yaitu *phyto* (Yunani) berarti tumbuhan dan *remediation* atau *remedium* (Latin) berarti menyembuhkan

(Juhaeti dkk., 2005). Jadi, fitoremediasi merupakan sistem yang mengandalkan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik (Juhaeti dkk., 2005).

Dalam dunia teknologi, fitoremediasi adalah suatu teknologi yang menggunakan tanaman untuk memperbaiki kerusakan dalam kandungan limbah yang disebabkan oleh kandungan kimia tergantung kontaminan tertentu dalam tanah, endapan, kotoran/lumpur, air tanah, air permukaan, dan air sampah. Melalui metode ini air tambang dapat dikelola untuk meminimalisir penyebab terjadinya dampak lingkungan yang utama (Azwari dkk., 2019). Berikut Tabel 2.2 merupakan efektivitas fitoremediasi terhadap beberapa parameter dalam penelitian terdahulu.

Tabel 2.2 Efektivitas fitoremediasi terhadap beberapa parameter dalam penelitian terdahulu

Tumbuhan	Parameter Yang Direduksi	Efektivitas (%)	Penulis
eceng gondok	Fosfat	20,05%	Stefhany, 2013
kangkung air	BOD COD TSS Sianida	81,13% 78,57% 59,29% 50%	Nurkamalasari, 2013
Kayu apu dan eceng gondok	Amonia fosfat	55% 53%	Mutiara, 2019
<i>Azolla microphylla</i>	COD BOD TSS pH	96% 96% 97% 7	Unisah, 2020
Melati air	Timbal (Pb)	81,72%	Caroline, 2015
Lidah mertua	Timbal (Pb)	81,08%	Ratnawati, 2018
Jengger ayam	Timbal (Pb)	59,63%	Ratnawati, 2018
<i>Typha angustifolia</i>	<i>total petroleum hydrocarbon</i> (T PH)	42,6%	Hermaningsih, 2020
Bambu air	Timbal (Pb) Kromium (Cr)	82,2% 61,2%	Misbahul, 2013
Akar wangi	Besi (Fe) Kobalt (Co)	90,83% 56,85%	Zubair, 2015
Purun Tikus	Besi (Fe) Mangan (Mn)	80% 56%	Ariyani, 2014

Kiambang	Kromium (Cr)	79%	Izzah, 2017
Parupuk	pH	7,8	Lailan, 2019
	Merkuri (Hg)	56%	

Menurut Fauzi. (2016) beberapa proses yang terjadi dalam fitoremediasi, yaitu:

1. Fitodegradasi

Proses kontaminan diurai lalu diserap oleh tanaman melalui suatu proses metabolisme atau kontaminan tersebut diurai oleh tanaman melalui suatu pengaruh produksi senyawa tertentu. Contoh enzim dehalogenase dan oksigenase.

2. Rhizofiltrasi

Merupakan suatu proses pada akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi senyawa kimia pada air limbah.

3. Fitostabilisasi

Suatu proses dalam tanaman yang memiliki kemampuan dalam proses stabilisasi terhadap suatu senyawa kimia.

4. Fitovolatilisasi

Suatu penyerapan dari transpirasi suatu kontaminan oleh tanaman yang dilakukan dengan cara melepaskan kontaminan tersebut. Adapun proses senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepaskan melewati daun.

5. Fitoekstraksi

Suatu proses yang dilakukan oleh akar tumbuhan seperti penyerapan/pengambilan kontaminan dan ditranslokasikan atau pemindahan transportasi senyawa tersebut ke bagian atas tumbuhan baik batang maupun daun.

Aklimatisasi merupakan perlakuan yang bertujuan untuk tercapainya adaptasi oleh organisme itu sendiri terhadap suatu lingkungan baru yang akan dimasukinya. Hal ini didasarkan untuk melatih kemampuan organisme dalam mengatur kondisi fisik, perilaku, dan jalur metabolisme biokimia di dalam tubuhnya untuk menyesuaikan dengan lingkungan barunya. Biasanya waktu

efektif yang diperlukan untuk proses adaptasi sejumlah bakteri hingga menunjukkan kestabilan $\pm 10-20$ hari (Novia dkk., 2020).

2.4. *Typha Latifolia*

Typha Latifolia merupakan tanaman dari suku *Typhaceae* dan bangsa *Typhales* yang mempunyai *rizoma*, beramilum, sering membentuk koloni padat, menjulang dari air dangkal atau tumbuh di tempat yang basah, sel-sel bertanin tersebar, batang tegak, serta berakhir dengan pembungaan. Daun yang memiliki ciri-ciri berbentuk dua garis, terdapat di dasar, pelepah lamina linearis. Tanaman *T. latifolia* banyak dijumpai pada lahan basah seperti rawa-rawa sehingga tumbuhan ini terdapat hampir di setiap benua. Tumbuhan *T. latifolia* juga bisa hidup pada kondisi air yang tergenang atau tanah yang jenuh dengan air, dan *T. latifolia* tumbuh berkelompok (Irhamni dkk., 2018). Tumbuhan *T. latifolia* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. *Typha Latifolia*

Sumber: Evasari (2012)

Daya tahan tumbuhan *T. latifolia* yang tinggi terhadap perubahan cuaca dan kondisi lingkungan lainnya yang mengakibatkan tumbuhan *T. latifolia* dapat digolongkan kepada jenis tumbuhan hiperakumulator atau kemampuan tumbuhan *T. latifolia* dalam menyerap limbah kimia salah satunya adalah limbah asam. Pengolahan limbah itu terjadi ketika air limbah melewati akar tumbuhan yang berisi bakteri (Cahyana dkk., 2019). Proses bakteri ini terjadi karena adanya proses enzimatik, pada proses ini larutan asam akan dipecahkan menjadi molekul-molekul kecil yang akan diserap oleh tumbuhan (Prayitno dkk., 2014). Seperti tercantum pada penelitian Purwanti dkk. (2014), bahwa *T. latifolia* berpotensi

mengolah limbah buangan industri. *T. latifolia* mampu mereduksi kandungan pencemar, menurunkan beban *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), dan *total suspended solid* (TSS) limbah cair domestik. Berikut Tabel 2.3 merupakan efektivitas tumbuhan *T. latifolia* terhadap beberapa parameter dalam penelitian terdahulu.

Tabel 2.3 Efektivitas tumbuhan *T. latifolia* terhadap beberapa parameter dalam penelitian terdahulu

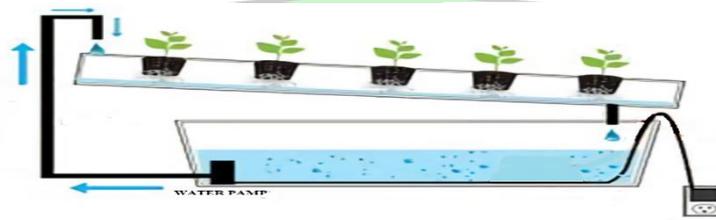
Parameter	Efektivitas (%)	Penulis
COD	76,38%	Frischilla, 2017
Seng (Zn)	77,56%	
BOD	82,62%	
TSS	82,62%	
TDS	35%	
Besi(Fe)	98%	Sulthoni, 2014
Mangan (Mn)	92,1%	
<i>Total Kjeldahl Nitrogen</i> (TKN)	91,27%	Cahyana, 2019
Deterjen	70,6%	Evasari, 2012
Amonia	80%	Aka, 2017
kadmium (Cd)	59,05%	Fitra, 2013
Timbal (Pb)	79,80%	Widyaningrum, 2019
pH	8,6	Irhamni, 2018

2.5. Hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*)

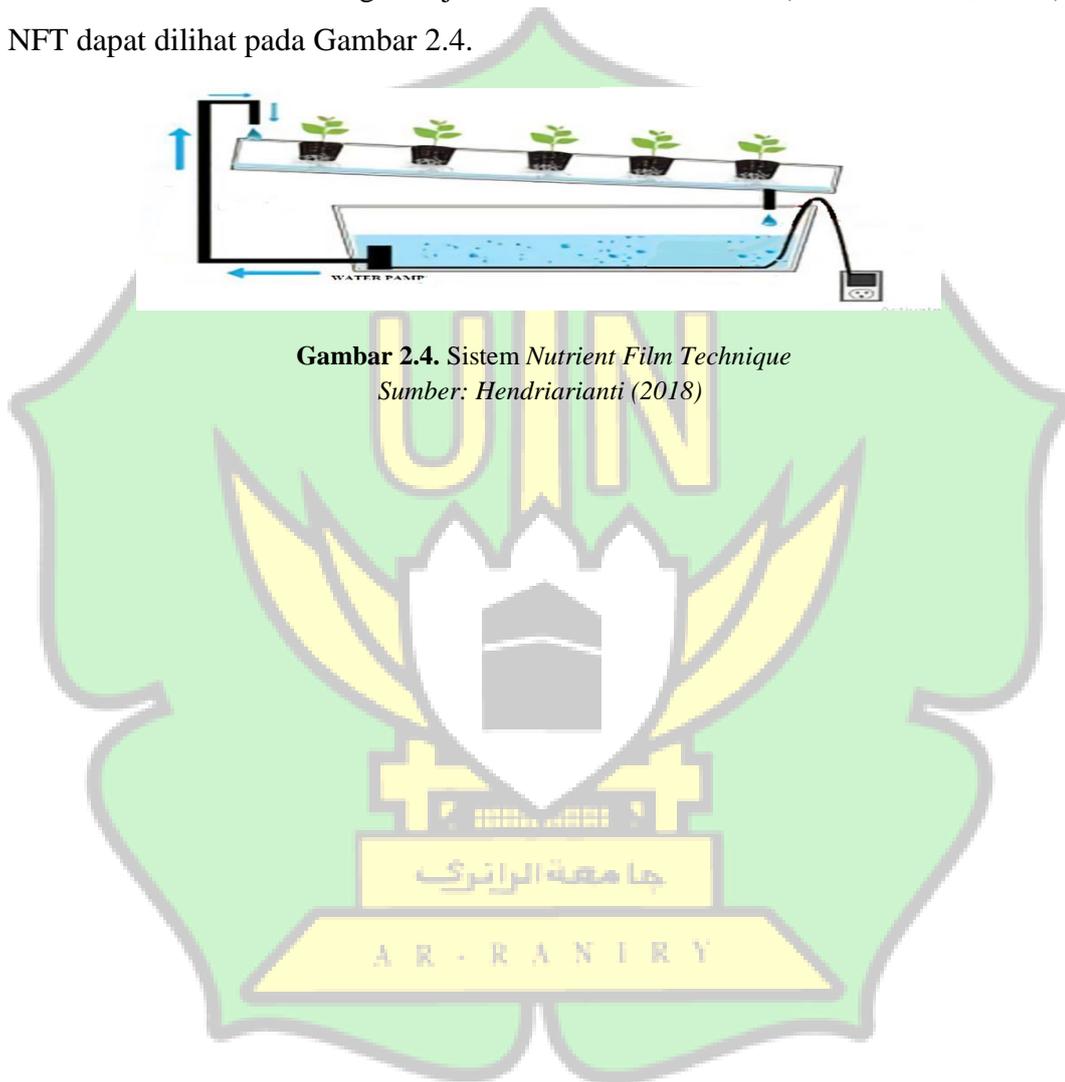
Nutrient Film Technique (NFT) merupakan salah satu budidaya dengan cara meletakkan akar tanaman pada lapisan air yang dangkal, dengan ini air terus melakukan sirkulasi yang membuat akar pada tanaman mendapatkan selapis larutan nutrisi sesuai dengan kebutuhannya (Wibowo dkk., 2013). Perakaran bisa berkembang di dalam larutan nutrisi, karena adanya lapisan nutrisi pada akar yang membantu akar untuk memasok makanan pada tumbuhan maka sistem ini dikenal dengan nama *nutrient film technique* (Hendriarianti, 2018).

Penerapan hidroponik *Nutrient Film Technique* (NFT) perlu diperhatikan panjang talang dan jarak tanaman agar tercapainya budidaya yang maksimal. Talang yang terlalu panjang akan berakibat pada tanaman, salah satunya

menyebabkan defisiensi nitrogen yaitu terhambatnya pertumbuhan tanaman diakibatkan kekurangan unsur nitrogen, dan Jarak tanaman dengan tanaman lainnya juga perlu di perhatikan karena jarak tanam jika terlalu rapat akan terjadinya perebutan unsur hara yang dilakukan oleh tumbuhan, Perebutan unsur hara juga dapat terjadi akibat terbendungnya aliran akibat pertumbuhan akar yang terlalu lebat di dalam talang bila jarak tanam terlalu dekat (Vidiyanto dkk., 2006). NFT dapat dilihat pada Gambar 2.4.



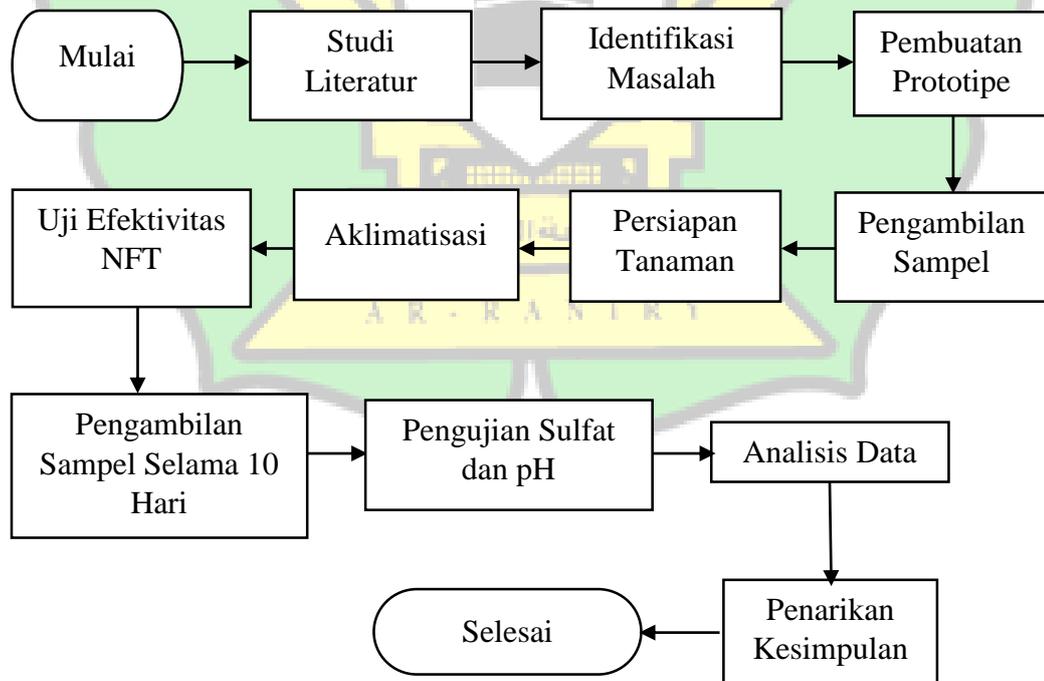
Gambar 2.4. Sistem *Nutrient Film Technique*
Sumber: Hendriarianti (2018)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Tahapan umum pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 3.1, dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) Tahapan studi pendahuluan. Studi pendahuluan dilakukan dengan studi literatur berupa jurnal, skripsi, dan tesis. (2) Identifikasi masalah dilakukan dengan uji pendahuluan berdasarkan kajian studi literatur. Hasil dari identifikasi masalah ini dijadikan acuan untuk penentuan titik pengambilan sampel. (3) Tahap pembuatan prototipe hidroponik NFT dilakukan perangkaian alat dan bahan yang akan digunakan untuk eksperimen. (4) Tahap pengambilan sampel air hujan. (5) Tahap aklimatisasi tanaman bertujuan untuk penyesuaian diri tanaman pada lingkungan barunya. (6) Tahap eksperimen. tahap ini dilakukan untuk menjawab rumusan masalah berupa pengaruh waktu dan jumlah tanaman terhadap kemampuan tumbuhan dalam pengolahan air hujan. (7) Analisis data dilakukan untuk proses pengolahan data. (8) Tahap analisis data dilakukan untuk proses pengolahan data dan statistik. (9) Tahap penarikan kesimpulan.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.3. Tanaman

Tanaman yang digunakan adalah *Typha latifolia*. Evasari. (2012) mengatakan tanaman ini merupakan jenis rumput-rumputan, tanaman dengan batang yang panjang, hijau, dan ramping. Tanaman ini juga memiliki bunga yang berwarna coklat, berbulu, dengan bentuk menyerupai sosis. *Typha latifolia* memiliki daun basal tipis dengan pembuluh paralel sepanjang daun yang panjang dan sempit, kehidupan bagi *T. latifolia* berbentuk koloni dan dapat hidup dalam kondisi air apapun, karena menurut Sulthoni dkk. (2014) tanaman ini mempunyai kemampuan bertahan hidup (adaptasi) dengan tingkat keasaman yang rendah. Juga dibahas pada penelitian Irhamni dkk., (2018) Habitat dari *T. latifolia* adalah lingkungan yang mempunyai nilai pH 4–10 dan temperatur 10–30°C.



Gambar 3.2 *Typha Latifolia*

3.3. Bahan Eksperimen

Eksperimen ini menggunakan bahan untuk pengukuran H_2SO_4 ditujukan pada Tabel 3.1, dan pH pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Bahan yang digunakan untuk uji sampel pH (SNI 06-6989.11-2004).

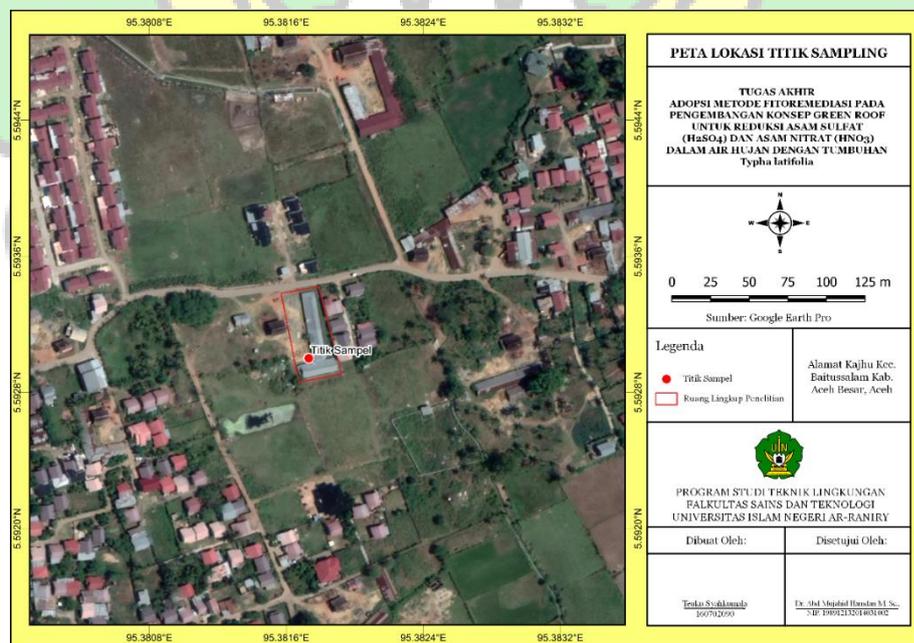
Nama Bahan	Volume	Satuan	Peruntukan
Larutan penyangga 0,4	20	mL	Sebagai larutan penyangga dalam pengukuran pH asam
Larutan penyangga 0,7	20	mL	Sebagai larutan penyangga dalam pengukuran pH normal
Larutan penyangga 0,10	20	mL	Sebagai larutan penyangga dalam pengukuran pH basa

Tabel 3.2 Bahan yang digunakan untuk uji sampel H₂SO₄ (SNI 6989.20:2009)

Nama Bahan	Volume	Satuan	Peruntukan
Air Bebas Mineral	2	μS/cm	penyulingan atau proses demineralisasi
Bahan Baku Sulfat (H ₂ SO ₄)	100	mg	Membuat larutan kerja

3.4. Lokasi Pengambilan Sampel Air Hujan

Pengambilan sampel dilakukan di Kajhu, Aceh Besar yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Pengambilan sampel pada titik tersebut sesuai berdasarkan laporan Sarina dkk. (2015) yang menyebutkan titik lokasi yang dipilih memiliki pH di bawah baku mutu yang diduga akibat polusi dari pembakaran batu bata di titik tersebut. Pemilihan lokasi ini juga diperkuat berdasarkan hasil uji pendahuluan. Uji pendahuluan dilakukan dengan pengambilan sampel air hujan pada pukul 18.40 WIB dan pengukuran pH menggunakan pH meter di laboratorium multifungsi UIN Ar-Raniry.

**Gambar 3.3.** Peta Daerah Pengambilan Sampel Di Kajhu, Aceh Besar*Sumber: Google*

3.5. Metode Pengambilan Sampel Air Hujan

Pengambilan sampel air hujan menggunakan metode *grab sampling* (sampel sesaat) dengan menampung air hujan langsung menggunakan bahan yang tidak mempengaruhi sifat pada air sampel (Samudro dkk., 2011). Berikut langkah-langkah pengambilan sampel:

1. Sampel air hujan diambil langsung dari pabrik batu bata pada pukul 15.00 wib. Interval waktu tersebut didasari oleh intensitas hujan yang tinggi.
2. Sampel diambil langsung pada titik sampel dengan menampung menggunakan wadah penampung sebanyak 140 liter lalu diangkat menuju reaktor.

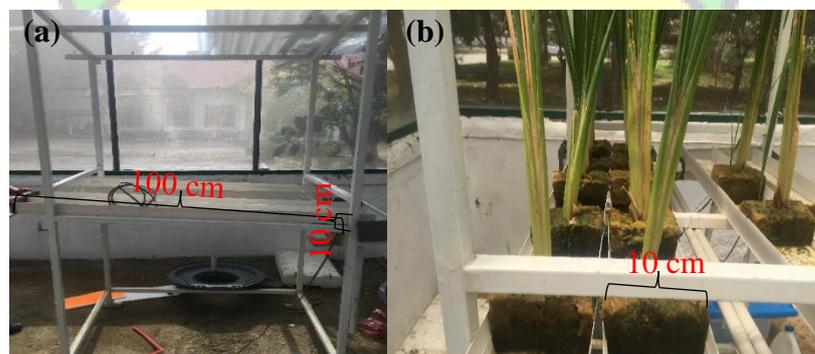


Gambar 3.4 Pengambilan sampel air hujan asam (a). Kondisi lapangan (b).

3.6. Tahap Persiapan

3.6.1. Persiapan reaktor fitoremediasi

Reaktor fitoremediasi didesain dalam satu wadah hanya saja aliran air yang berbeda untuk memisahkan aliran air 5 tumbuhan dan 10 tumbuhan. Pembuatan wadah tanam menggunakan talang ukuran panjang 100 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm menggunakan tumbuhan *T. latifolia* sebanyak 15 tumbuhan dengan media tanam *rockwool* dan dipasangkan aerator.



Gambar 3.5 Persiapan reaktor fitoremediasi (a), persiapan tanaman (b).

3.6.2. Aklimatisasi

Tumbuhan *T. latifolia* diaklimatisasi dengan cara ditanam selama \pm 1 minggu pada wadah penanaman *rockwool* langsung tanpa ditanam terlebih dahulu di media tanah bertujuan agar aklimatisasi tumbuhan sudah terbiasa di kondisi media tanam *rockwool* (Evasari, 2012). Aklimatisasi tumbuhan agar sistem menjadi stabil terutama tumbuhan *T. latifolia* sebagai penyerap utama pencemar. Agar tanaman beradaptasi maka dilakukan tahapan pengisian air limbah, dengan komposisi awal berupa 20% air limbah dan 80% air bersih selama 2 hari. Selanjutnya penambahan komposisi menjadi 40% air limbah dan 60% air bersih selama 2 hari. Pada hari ke 5 di tambahkan lagi air limbah sebanyak 60% dan air bersih sebanyak 40% selama 2 hari, hal ini dilakukan terus-menerus sampai hari ke 10 dimana komposisi menjadi 100% air limbah, kemudian dilakukan prosedur penelitian (Evasari, 2012). Proses aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Proses aklimatisasi

3.7. Eksperimen

3.7.1. Penyiapan pra-eksperimen

1. Media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah *rockwool* seluas $5 \times 7,5$ cm. Media tanam *rockwool* terbuat dari bahan non-organik terdiri dari campuran batuan basalt dan pasir sehingga membentuk serat (Nugraha, 2018). *Rockwool* dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.7 *Rockwool*

2. Pipa PVC, selang, dan wadah penampung. Pipa PVC yang dipakai pada penelitian ini adalah pipa dengan ukuran $\frac{3}{4}$ inch. Pipa dengan ukuran ini sangat efektif berfungsi untuk mengalirkan air ke wadah uji. Selang dengan panjang 2 m digunakan untuk penghubung wadah tanam menuju wadah penampung (Hendriarianti dkk., 2018).
3. Sampel air hujan sebanyak 70 liter, 70 liter \times 2 prototipe maka dibutuhkan air hujan sebanyak 140 liter (Sarina dkk., 2015).
4. Tumbuhan *T. latifolia* yang akan digunakan sebanyak 15 batang memiliki ciri-ciri, tinggi dari akar sampai daun 30-50 cm. Tumbuhan *T. latifolia* diambil pada rawa di Desa Jeulingke, Kota Banda Aceh.

3.7.2. Tahapan eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan Langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tumbuhan *T. latifolia* terbagi kedalam 2 prototipe yang sama pembedanya jumlah tanaman yang ditanam dalam prototipe. Pada prototipe pertama dipakai 5 tumbuhan dan prototipe kedua menggunakan 10 tumbuhan (Frischilla, 2017).
2. Peletakan media tanam rockwool dengan ketebalan 7,5 cm beserta tumbuhan *T. latifolia* sebagai lapisan teratas (Nugraha, 2018).
3. Penuangan sampel air hujan ke masing-masing dua prototipe penampung (Hendriarianti dkk., 2018).
4. Fitoremediasi menggunakan sistem NFT (*Nutrient Film Technique*) secara kontinu dialirkan menggunakan pompa Pompa Kiyosaki SP 1200 dengan debit 12 liter/detik, sebagai sirkulasi limbah air hujan (Hendriarianti dkk., 2018).
5. Pengamatan variasi lama waktu kontak air air hujan dengan prototipe hidroponik NFT di data secara manual.
6. Pengontrolan tumbuhan. Tumbuhan pada masing-masing prototipe hanya perlu pengontrolan saja, hal ini dikarenakan tumbuhan ini tidak memerlukan

perawatan khusus seperti pemberian pestisida sebab tumbuhan memiliki daya tahan terhadap serangga dan mampu tumbuh baik pada media tanam dengan kandungan unsur hara yang relatif rendah (Irhamni dkk., 2018).

3.8. Pengukuran Parameter Air Bersih

3.8.1. Pengukuran parameter asam sulfat (H_2SO_4)

Pengukuran parameter asam sulfat (H_2SO_4) dengan menggunakan Spektrofotometer UV-VIS SNI No. 6989.20:2009. Alat Spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Alat spektrofotometri UV-VIS

Sumber: Google (2020)

Cara pengujian parameter H_2SO_4 ditunjukkan sesuai (SNI 6989.20:2009) ditunjukkan sebagai berikut:

1. Pembuatan larutan kerja sulfat

Larutan kerja dibuat dari larutan baku sulfat dengan 1 blanko dan minimal 3 kadar yang berbeda secara proporsional dan berada dalam rentang pengukuran.

2. Pembuatan kurva kalibrasi

- a. Spektrofotometer atau turbidimeter dioperasikan dan dioptimalkan sesuai dengan cara kerja alat.
- b. Larutan kerja sebanyak 100 ml masing-masing dipindahkan ke dalam labu erlenmeyer 250 ml atau gelas piala 250 ml.
- c. Larutan buffer A sebanyak 20 ml ditambahkan dan diaduk dengan alat pengaduk pada kecepatan konstan. Ditambahkan 1 sendok takar kristal $BaCl_2$ selama pengadukan, kemudian pengadukan diteruskan selama 60 ± 2 detik terhitung dari penambahan $BaCl_2$.
- d. Ukur serupanya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm atau ukur turbiditasnya dengan turbidimeter pada waktu $5 \pm 0,5$ menit.
- e. Kurva kalibrasi dibuat atau ditentukan persamaan garis regresinya.

3. Prosedur kerja pengujian H_2SO_4
 - a. Contoh uji dipipet sebanyak 100 ml yang telah diencerkan menjadi 100 ml dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 250 ml.
 - b. Larutan buffer A ditambahkan sebanyak 20 ml dan diaduk dengan alat pengaduk dengan kecepatan yang konstan, ditambahkan 1 sendok takar kristal BaCl_2 , pengadukan diteruskan selama 60 ± 2 detik terhitung dari penambahan BaCl_2 .
 - c. Serapannya diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm atau ukur turbiditasnya dengan turbidimeter pada waktu $5 \pm 0,5$ menit.
 - d. Serapannya atau turbiditasnya dicatat.

4. Perhitungan pengujian H_2SO_4

$$\text{Kadar Sulfat (mg SO}_4^{2-}/\text{L)} = C \times f$$

C = kadar sulfat yang diperoleh dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam miligram per liter (mg/L).

F = faktor pengenceran.

3.8.2. Pengukuran Parameter pH

Pengukuran pH dari sampel air sumur akan dibaca menggunakan alat pengukur pH meter dapat dilihat pada Gambar 3.8. Cara pengukuran pH dijelaskan sesuai (SNI 06-6898.11-2004) sebagai berikut:

1. Elektroda dikeringkan dengan kertas tisu dan selanjutnya dibersihkan menggunakan air suling.
2. Elektroda dibilas dengan contoh uji.
3. pH meter dicelupkan ke dalam elektroda sehingga menunjukkan pembacaan yang akurat.

Hasil dari pembacaan skala atau angka dicatat pada tampilan dari pH meter.



Gambar 3.9 pH meter

Syber: Google.com

3.9. Analisis Data

Analisis data pertama penelitian ini yaitu menghitung efektivitas penurunan parameter H_2SO_4 . Uji efektivitas dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$EP = \frac{C(in) - C(out)}{C(in)} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan EP adalah nilai efektivitas penurunan $C(in)$ yaitu konsentrasi pencemar sebelum diolah dan $C(out)$ yaitu konsentrasi pencemar setelah diolah.

Analisa data selanjutnya yaitu uji kinetika menggunakan kinetika laju reaksi orde 0 dan orde 1. Analisa orde 0 dan orde 1 digunakan untuk melihat perbandingan kinetika laju reaksi yang paling efektif. Orde 1 dilihat dari nilai korelasi hasil uji mencapai $k = 0,9$ yang maknanya laju reaksi ini bergantung pada konsentrasi reaktan dipangkatkan dengan satu atau laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi pereaksi (Rambe, 2015). Sehingga uji kinetika laju reaksi orde 1 dihitung dengan persamaan 2:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = k (C_0 - Ct) \quad (2)$$

Nilai t adalah waktu, Ct adalah konsentrasi terdegradasi (H_2SO_4) pada waktu (t), C_0 adalah konsentrasi terdegradasi (H_2SO_4) pada waktu (0), k koefisien kecepatan reaksi degradasi.

Sedangkan orde 0 dilihat dari besarnya laju reaksi tidak dipengaruhi oleh berapapun peningkatan konsentrasi pereaksi tidak akan mempengaruhi besarnya laju reaksi (Hajar dkk., 2016). Persamaan linear orde reaksi 0 dihitung dengan rumus sebagai berikut 3:

$$C_A = C_{A0} - kt \quad (3)$$

C_A adalah konsentrasi (H_2SO_4) pada waktu pengolahan, C_{A0} adalah konsentrasi (H_2SO_4) pada waktu tanpa pengolahan, k adalah konstanta kinetika, t adalah waktu.

Setelah diketahui penentuan orde yang paling efektif maka dilakukan pemodelan, tujuan dilakukan pemodelan untuk menentukan model kinetik mana dalam literatur yang paling sesuai dengan data yang diperoleh dalam penelitian. Data yang digunakan untuk model ini didasarkan pada penghilangan kontaminan

dari serapan kontaminan di dalam tanaman yang dianalisis melalui UV-VIS (Chua dkk., 2019).

Analisa data selanjutnya yaitu analisa data menggunakan regresi linear sederhana untuk mengamati pengaruh antara dua atau lebih variabel bebas (waktu dan jumlah tumbuhan) dan variabel terikat (parameter H_2SO_4 , dan pH) (Mona dkk., 2015). Sebelum dilakukan analisis data regresi linear sederhana terlebih dahulu dilakukan uji normalitas dan uji linear (Alimuddin dkk, 2017).



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

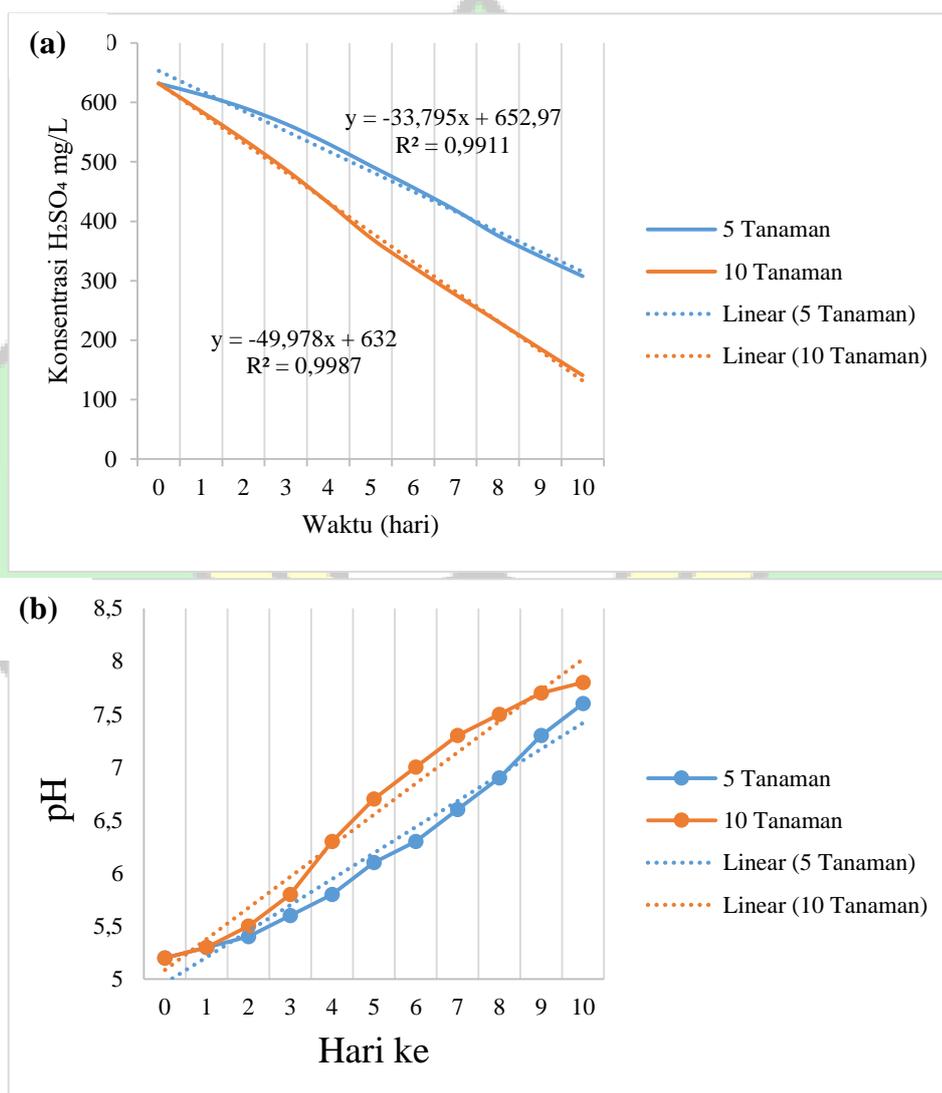
4.1. Hasil

Hasil pengujian terdiri dari parameter asam sulfat (H_2SO_4) dan pH seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Hasil analisis terdiri dari efektivitas dan laju degradasi yang juga ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1. Berdasarkan hasil pengujian awal, sampel air hujan terbukti tercemar. Dengan merujuk pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017, nilai parameter asam sulfat (H_2SO_4) dan pH telah melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Hasil uji awal terhadap sampel air hujan memiliki kandungan H_2SO_4 sebesar 631,631 mg/L dan pH 5,2. Hasil optimal dapat ditemukan pada masing-masing reaktor setelah dilakukan pengolahan. Hasil optimal pada reaktor fitoremediasi 5 tanaman didapatkan sebesar 376,006 mg/L dalam waktu 8 hari, dan reaktor fitoremediasi 10 tanaman didapatkan hasil optimal sebesar 372,352 mg/L dalam waktu 5 hari.

Tabel 4.1 Hasil perubahan analisis parameter pada reaktor fitoremediasi 5 tanaman dan reaktor fitoremediasi 10 tanaman serta hasil efektivitas penurunan (%) persentase H_2SO_4 terhadap nilai sebelumnya dan laju degradasi.

Tahapan Perlakuan	Waktu (Hari)	pH	Baku Mutu pH	Sulfat (H_2SO_4) (mg/l)	Baku mutu (H_2SO_4) (mg/l)	Penurunan H_2SO_4 Terhadap Sampel Awal (%)	Laju Degradasi H_2SO_4 (mg/liter.hari)
Pengujian Awal	-	5,2		631,631		-	-
5 Tanaman	1	5,3	6,5-8,5	613,153	400	2,925	18,478
	2	5,4		591,111		3,595	22,042
	3	5,6		563,781		4,623	27,330
	4	5,8		530,474		5,908	33,307
	5	6,1		493,438		6,982	37,036
	6	6,3		456,981		7,388	36,457
	7	6,4		418,692		8,379	38,289
	8	6,8		376,006		10,195	42,686
	9	7,3		340,960		9,321	35,046
	10	7,6		307,692		9,757	33,268

10 Tanaman	1	5,3		585,093		7,368	46,538
	2	5,5		537,667		8,106	47,426
	3	5,8		487,011		9,421	50,656
	4	6,3		431,313		11,437	55,698
	5	6,7		372,352		13,693	59,060
	6	7,0		323,232		13,169	49,021
	7	7,4		376,674		14,404	46,558
	8	7,5		231,507		16,325	45,167
	9	7,7		185,507		19,761	45,749
	10	7,8		141,020		24,084	44,738



Gambar 4.1 Grafik perubahan hasil pengujian (a) penurunan H_2SO_4 dan (b) penetralan pH terhadap waktu.

4.2. Pembahasan.

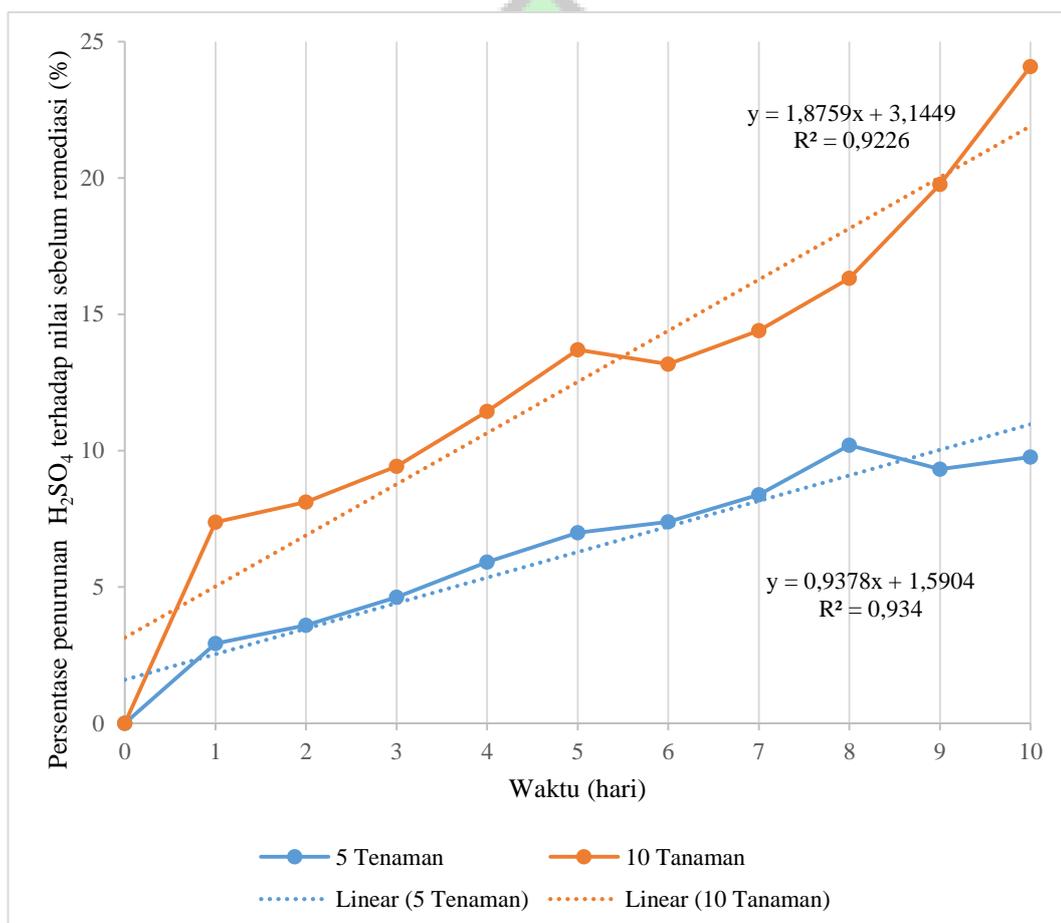
Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian terhadap sampel air hujan yang mengandung asam sebelum dilakukan pengolahan melebihi dari baku mutu. Menurut Nasihah, (2017), kandungan hujan secara alami bersifat asam karena adanya zat kimia yang berdifusi pada air hujan, tetapi sebagai asam lemah, yang diartikan sebagai hujan asam. Hujan tersebut memiliki pH di bawah 5,6, sedangkan menurut Wardhani dkk. (2015), meningkatnya gas sulfur dioksida (SO_2) di dalam atmosfer dikarenakan adanya unsur senyawa kimia yang mengalami difusi. Sehingga bereaksi dengan air akan membentuk zat-zat kimia lain termasuk asam sulfat (H_2SO_4).

Cahyono dkk., (2007) mengatakan bahwa tingginya kandungan asam pada air hujan di beberapa dekade disebabkan oleh aktivitas manusia yang tidak terkontrol. Namun, menurut Sarina dkk. (2015), kandungan asam di wilayah Aceh Besar meningkat karena adanya aktivitas manusia seperti keberadaan pabrik pembuatan batu bata. Proses pembuatan batu bata melalui tahap pembakaran selama empat hari empat malam sehingga menghasilkan asap. Asap tersebut akan terkumpul di atmosfer dan akan berdifusi dengan air saat hujan turun, sehingga kandungan asam pada air hujan seperti asam sulfat terus meningkat.

4.2.1. Efektivitas fitoremediasi dengan *T. latifolia* dalam menurunkan asam sulfat (H_2SO_4) dan menormalkan pH

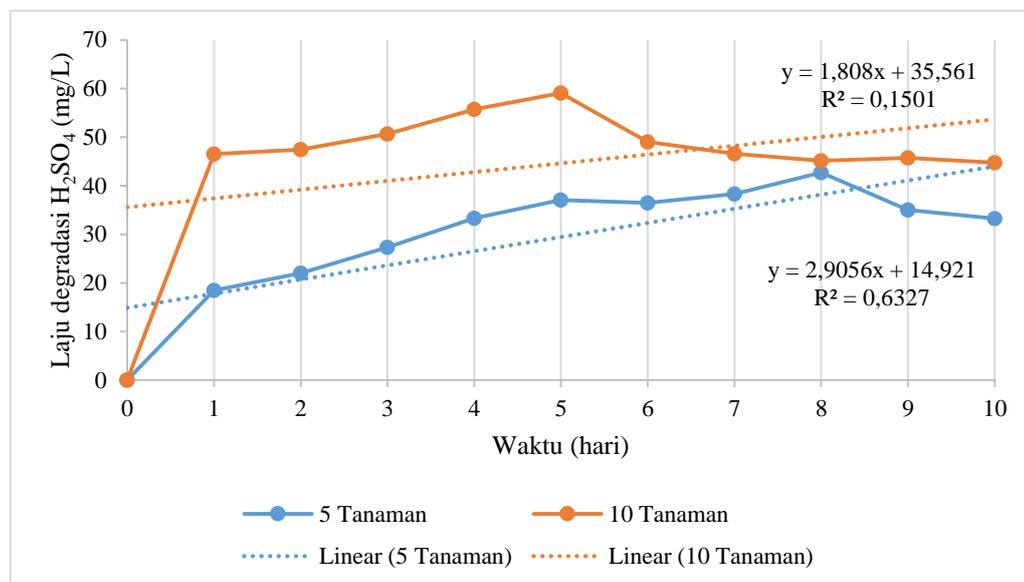
Hasil efektivitas maksimum kedua reaktor fitoremediasi dalam mereduksi H_2SO_4 terjadi pada hari ke-10. Hal ini didukung oleh hasil uji regresi linear sederhana yang menunjukkan variabel jumlah tanaman dan waktu kontak berpengaruh terhadap parameter H_2SO_4 ($0,000 < \text{probabilitas} < 0,05$). Frischilla dkk. (2017) mengatakan bahwa adanya pengaruh waktu terhadap tanaman dikarenakan aktivitas degradasi oleh mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman. Selain itu diperkuat dengan penelitian Aka dkk. (2018), apabila tanaman *T. latifolia* berkontak langsung dengan air, maka tanaman tersebut terus tumbuh serta menghasilkan akar-akar yang banyak dan kuat, hal ini mendukung bakteri autotrof berkembangbiak dengan mudah. Sedangkan menurut Prayitno dkk. (2014), kadar asam sulfat (H_2SO_4) pada hujan asam disebabkan oleh reaksi sinar matahari dan

oksigen dari udara sehingga dapat masuk kedalam air limbah. Fenomena tersebut menyebabkan zat organik yang terkandung pada air limbah dapat terjadi secara aerob oleh bakteri yang tumbuh pada akar-akar tumbuhan sehingga memecahkan unsur pada sulfat menjadi ion sulfat, ion-ion sulfat diserap oleh akar dan dimetabolisme menjadi penyusun protein dalam tumbuh-tumbuhan (Abdulgani dkk., 2018).



Gambar 4.2 Grafik persentase penurunan H_2SO_4 terhadap konsentrasi awal terhadap waktu.

Berdasarkan grafik (a) pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2, asam sulfat menurun secara linear terhadap waktu. Kedua gambar tersebut menunjukkan belum ada tanda terjadinya kejenuhan reduksi H_2SO_4 , dengan demikian, jika pengolahan diteruskan ke hari-hari selanjutnya kemungkinan H_2SO_4 akan terus mengalami degradasi sampai menemui titik jenuh.

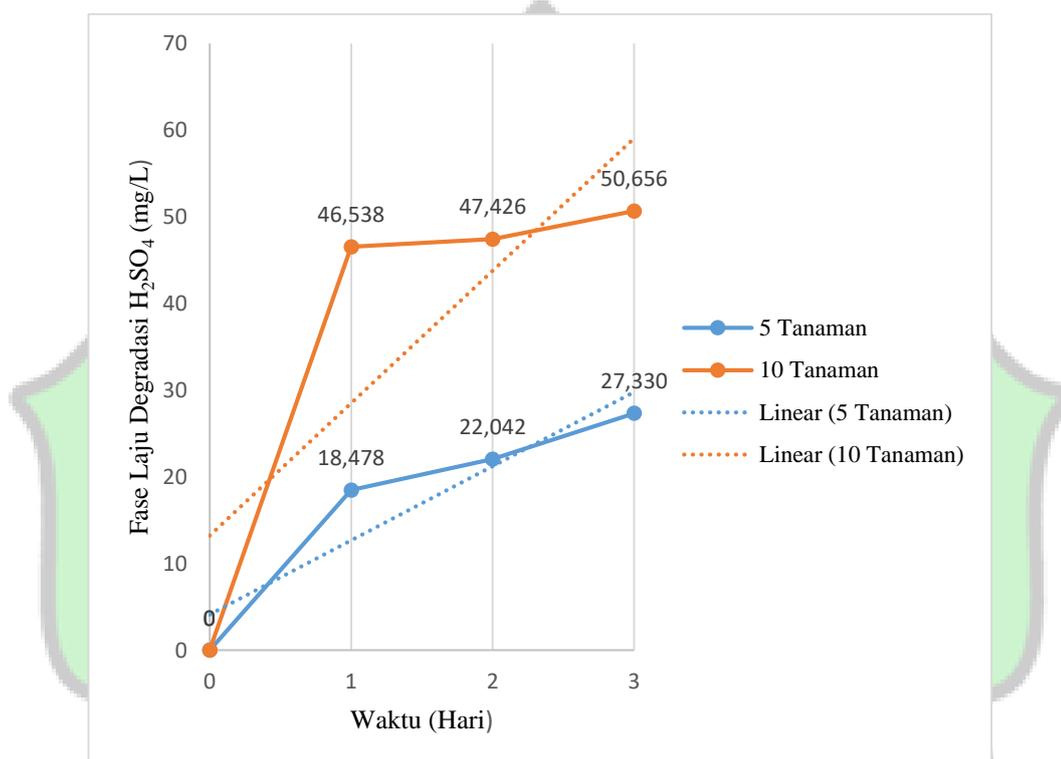


Gambar 4.3 Grafik laju degradasi parameter H₂SO₄ per-hari

Gambar 4.3 menunjukkan laju degradasi asam sulfat (H₂SO₄) per-hari pada masing-masing reaktor fitoremediasi. Tanaman berjumlah 5 tumbuhan paling optimal pada hari ke-8 dengan nilai 42,686 mg/L.hari. Menurut Purwanti dkk. (2014) tanaman *T. latifolia* dapat mempercepat penguapan air melalui proses evapotranspirasi. Proses evapotranspirasi yang terjadi akan mendukung laju pengambilan unsur hara yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis melalui mekanisme penyerapan air melalui bulu-bulu akarnya (Cahyana dkk., 2019). Argumen ini diperkuat oleh Prayitno dkk. (2014) proses fotosintesis yang tinggi akan menghasilkan oksigen yang tinggi juga, sehingga oksigen terlarut dalam limbah cair akan meningkat. Tanaman *T. latifolia* mensuplai oksigen ke dalam air limbah melalui akar dan menambah jumlah oksigen terlarut dalam air limbah sehingga akan memacu kerja mikroorganisme dalam mengurai senyawa-senyawa pencemar. Kemudian untuk laju degradasi parameter asam sulfat (H₂SO₄) per-hari pada reaktor fitoremediasi berjumlah 10 tumbuhan paling optimal pada hari ke-5 dengan nilai 59,060 mg/L.hari. Penurunan yang dihasilkan pada reactor ke-2 lebih cepat dari pada reactor pertama dikarenakan adanya perbedaan jumlah tumbuhan pada masing-masing reaktor yang ikut berpartisipasi dalam mereduksi limbah asam. Menurut Maria dkk. (2018) sistem perakaran tumbuhan *T. latifolia* adalah

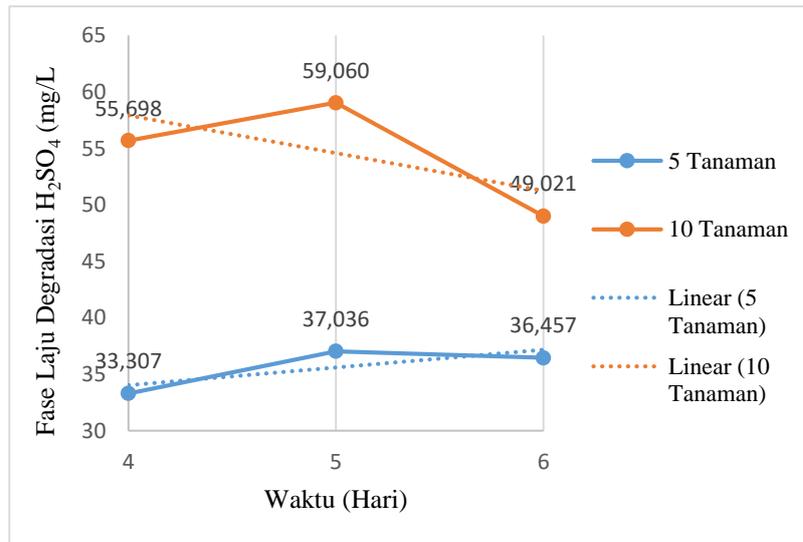
kuat, panjang dan menjalar sehingga sangat efektif dalam memperluas area tempat mikroorganisme melekat.

Gambar 4.4, menunjukkan fase penurunan awal laju degradasi masing-masing reaktor fitoremediasi dalam mereduksi asam sulfat (H_2SO_4), dan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan fase pertengahan hingga akhir laju degradasi masing-masing reaktor fitoremediasi dalam mereduksi asam sulfat (H_2SO_4)



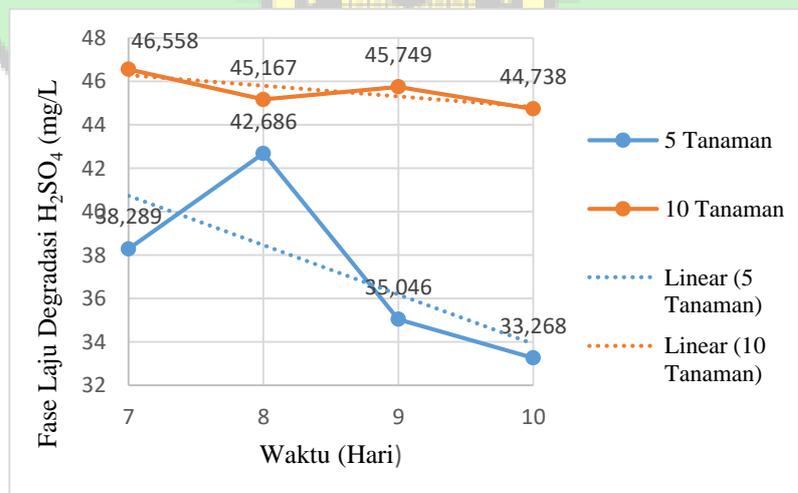
Gambar 4.4 Grafik fase awal laju degradasi H_2SO_4

Gambar 4.4 fitoremediasi H_2SO_4 pada hari ke-0 sampai dengan hari ke-3. Berdasarkan grafik, tumbuhan *T. latifolia* dari hari ke-0 menuju hari ke-3 mengalami kenaikan. Kenaikan yang sangat pesat dialami oleh 10 tumbuhan pada fase hari ke-0 menuju hari ke-10 diakibatkan oleh banyaknya jumlah tumbuhan. Sedangkan pada reaktor fitoremediasi 5 tumbuhan mengalami kenaikan laju degradasi H_2SO_4 hanya saja tidak seperti yang dialami laju degradasi pada 10 tumbuhan, dikarenakan jumlah tanaman yang berbeda. Hal ini didukung oleh penelitian Aka dkk. (2017) yang menunjukkan bahwa semakin luas akar tanaman sebanding dengan meningkatnya laju degradasi H_2SO_4 .



Gambar 4.5 Grafik fase ke-2 laju degradasi H_2SO_4

Gambar 4.5 menunjukkan fase ke-2 fitoremediasi H_2SO_4 pada hari ke-4 sampai dengan hari ke-6. Berdasarkan grafik, reaktor fitoremediasi 10 Tumbuhan mengalami puncak optimal pada hari ke-5 dalam mereduksi H_2SO_4 , sedangkan reaktor fitoremediasi 5 tumbuhan juga mengalami peningkatan hanya saja belum mengalami puncak optimal dalam mendegradasi H_2SO_4 , dikarenakan pada titik ini masing-masing tumbuhan yang tumbuh di setiap reaktor sudah beradaptasi dan terus meningkat, sehingga akar yang tumbuh memperbanyak tunas-tunas baru dan memperluas areanya untuk mempermudah tumbuhan dalam mereduksi H_2SO_4 (Maria dkk., 2018).

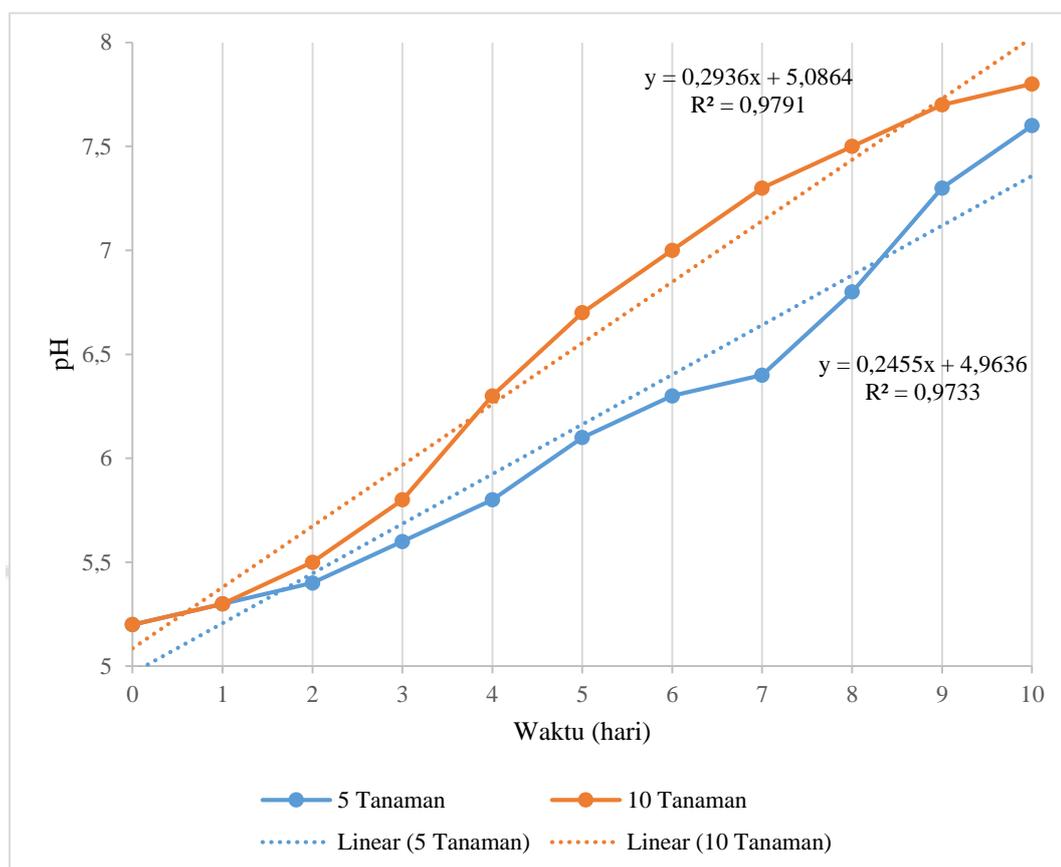


Gambar 4.6 Grafik fase ke-3 laju degradasi H_2SO_4

Gambar 4.6 menunjukkan fase ke-3 fitoremediasi H_2SO_4 pada hari ke-7 sampai dengan hari ke-10. Berdasarkan grafik, reaktor fitoremediasi 5 tumbuhan mencapai titik optimal pada hari ke-8 dalam mereduksi H_2SO_4 . Pada hari ke-8, reaktor 5 tumbuhan masih memiliki H_2SO_4 yang cukup untuk dijadikan sumber hara bagi tumbuhan. Terbukti pada hari ke-8 sampai dengan hari ke-10 adanya penurunan yang terjadi pada grafik dikarenakan penyediaan H_2SO_4 pada air sudah berkurang. Sedangkan pada grafik reaktor fitoremediasi 10 tumbuhan mengalami penurunan dari hari ke hari, di karenakan penyediaan H_2SO_4 pada air telah berkurang, menurut penelitian Artiyani, (2011) semakin lama waktu tanaman berada dalam limbah, semakin banyak pula tanaman memperluas area pertumbuhan akar. Maka menjadi kesempatan tanaman uji untuk menyerap unsur-unsur kimia dalam air limbah salah satunya H_2SO_4 dan menjadikan pH air menjadi normal. Penormalan pH pada limbah asam juga dipengaruhi oleh H_2SO_4 , dikarenakan menurut penelitian Fajarwati dkk. (2017) semakin tingginya konsentrasi asam pada suatu perairan, maka pH akan semakin rendah.

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa parameter pH terus mengalami peningkatan seiring banyaknya jumlah tanaman dan lamanya waktu. Peningkatan pH yang sesuai dengan baku mutu terdapat pada perlakuan 10 tanaman selama 5 hari dengan nilai pH yaitu 6,7 dan telah sesuai dengan standar baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017, nilai pH yang diperbolehkan adalah 6,5-8,5. Faktor yang mempengaruhi pH dikarenakan adanya kerja sama antara fitoremediasi dengan mikroorganisme yang dihasilkan melalui akar tumbuhan sehingga mikroorganisme yang tumbuh pada wadah tanam dapat mengubah unsur asam pada pH menggunakan enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut (Sulthoni dkk., 2014). Hal ini diperkuat dengan penelitian Evasari, (2012) dengan kondisi pH air yang mendekati netral, maka dapat diketahui bahwa proses fotosintesis tanaman berjalan dengan baik. Laju fotosintesis akan lebih cepat dengan kondisi pH mendekati netral. Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, kandungan pH dari hari ke hari dapat dilihat pada Gambar 4.7. Terlihat jelas pada kedua reaktor mencapai titik netral

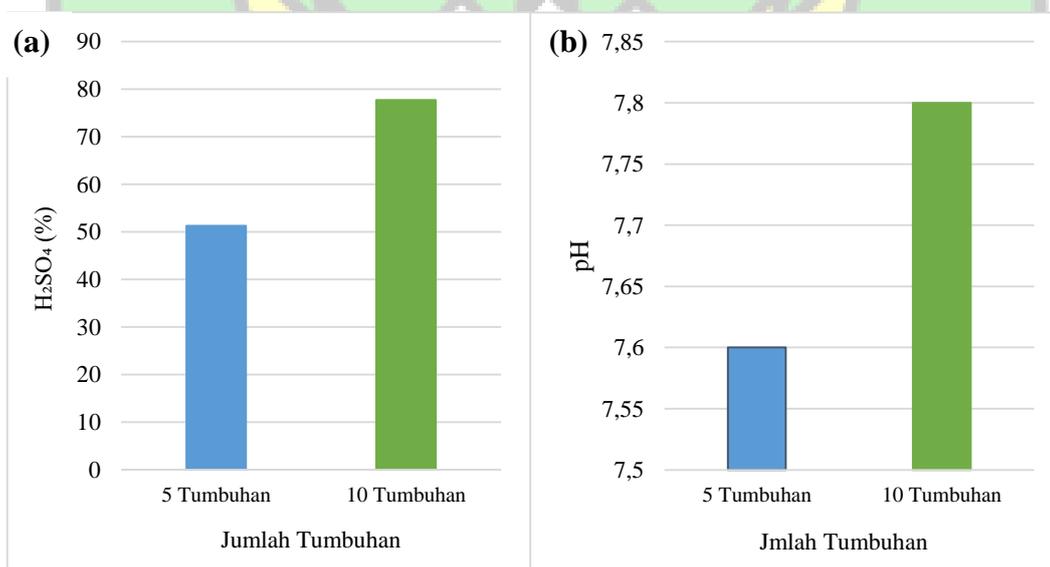
secara linier pada kandungan pH, hanya saja kedua reaktor fitoremediasi berbeda waktu kecepatan laju optimal dalam menetralkan pH.



Gambar 4.7 Grafik persentase penurunan H_2SO_4 terhadap konsentrasi awal terhadap waktu.

Berdasarkan Gambar 4.7, hasil efektivitas maksimum dalam mereduksi pH pada kedua reaktor terjadi pada hari ke-10, yang membedakannya hanyalah efektivitas kecepatan waktu terhadap jumlah tumbuhan pada masing-masing reaktor. Hal ini didukung oleh hasil uji regresi linear sederhana yang menunjukkan variabel jumlah tanaman dan waktu kontak berpengaruh terhadap parameter pH ($0,000 < \text{probabilitas} < 0,05$). Terlihat pada reaktor fitoremediasi 10 tumbuhan dalam menetralkan pH mengalami laju optimal lebih cepat memenuhi standar baku mutu Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 yaitu 6,7 dalam waktu 5 hari, pada 5 tumbuhan mengalami laju optimal dalam menetralkan pH yaitu 6,8 dalam waktu 8 hari, hal ini dikarenakan jumlah tumbuhan yang berbeda,

perbedaan ini sangat berpengaruh dikarenakan menurut penelitian Aka dkk. (2018) jika tumbuhan *T.Latifolia* berkontak langsung dengan air, maka tanaman tersebut terus tumbuh dan menghasilkan akar-akar yang banyak serta kuat, hal ini mendukung bakteri autotrof berkembang biak dengan mudah. Sedangkan menurut Prayitno dkk. (2014), menurunnya kadar sulfat (H_2SO_4) dan tingginya kadar pH pada hujan asam disebabkan oleh reaksinya sinar matahari dan oksigen dari udara sehingga dapat masuk kedalam air limbah. Fenomena tersebut yang membuat zat organik yang terkandung pada air limbah dapat terjadi secara aerob oleh bakteri yang tumbuh pada akar-akar tumbuhan sehingga memecahkan unsur pada sulfat menjadi ion sulfat, ion-ion sulfat diserap oleh akar dan dimetabolisme menjadi penyusun protein dalam tubuh tumbuhan (Abdulgani dkk., 2018). Penetralkan pH pada limbah asam juga dipengaruhi oleh H_2SO_4 , dikarenakan menurut penelitian (Fajarwati dkk., 2017) semakin tingginya konsentrasi asam dalam suatu perairan, maka pH akan semakin rendah begitu juga sebaliknya semakin rendah konsentrasi senyawa asam dalam suatu perairan, maka pH akan semakin netral.



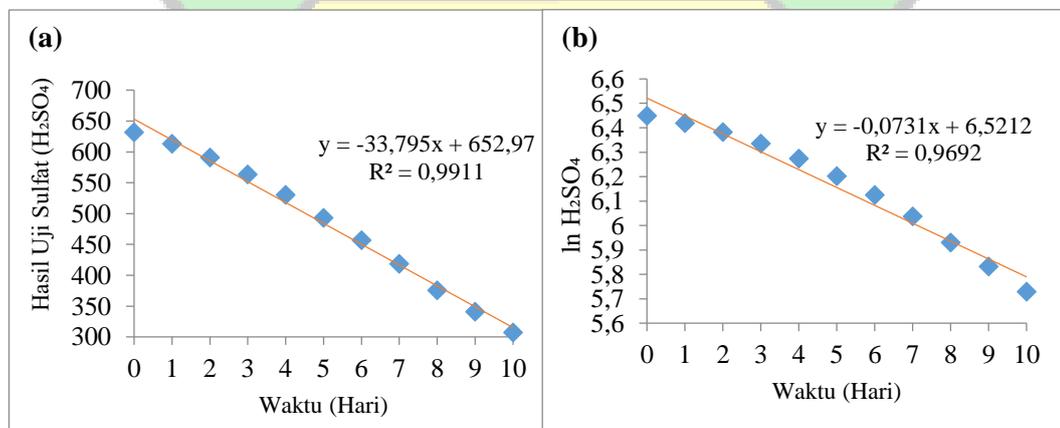
Gambar 4.8 Diagram Persentase perbandingan efektivitas pengolahan H_2SO_4 (a), dan penetralkan pH (b).

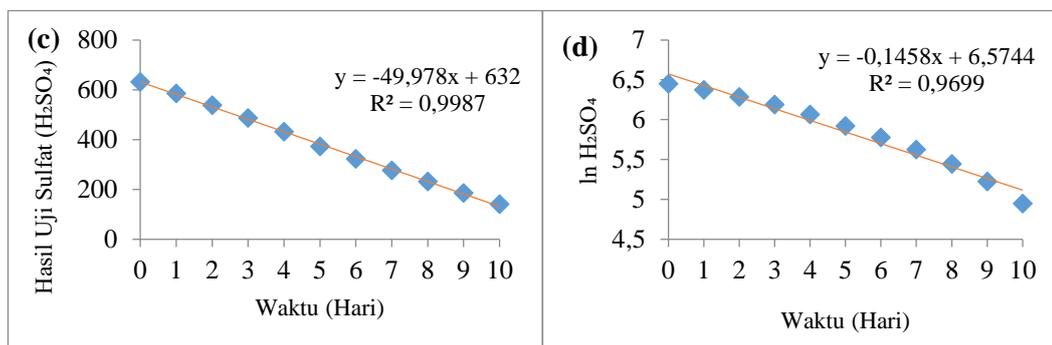
Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan efektivitas reaktor fitoremediasi 10 tumbuhan mampu menurunkan kadar H_2SO_4 selama 10 hari sebesar 77,70%, dan bisa menetralkan pH sampai 7,8 sedangkan reaktor fitoremediasi 5 tumbuhan hanya mampu menurunkan H_2SO_4 51,30% dan bisa menetralkan pH sampai 7,6.

Hasil ini menunjukkan peningkatan dari masing-masing perbedaan jumlah tumbuhan dalam mereduksi asam sulfat (H_2SO_4), sehingga hasil tersebut dapat memberikan informasi tentang fitoremediasi tumbuhan *T.Latifolia* dalam pengolahan untuk mengurangi asam sulfat (H_2SO_4) yang mempengaruhi konsentrasi hujan, sebelum adanya resiko hujan asam yang diakibatkan dari meningkatnya usaha pabrik batu bata di kota-kota besar seperti Kota Aceh Besar dan sekitarnya. Penelitian ini juga bertujuan untuk menjadikan inspirasi pengolahan yang ramah lingkungan dan biaya murah, sehingga teknik ini bisa diaplikasikan di Kota Aceh Besar. Beberapa parameter perlu diaplikasikan seperti asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCl). Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat dilakukan investigasi lanjutan mengenai rancangan, perencanaan, serta teknik lainnya dalam mereduksi hujan asam maupun limbah lainnya.

4.2.2. Kinetika reaksi penyerapan H_2SO_4 pada tumbuhan *Typha Latifolia*

Kinetika reaksi adalah cabang ilmu kimia yang mengkaji kecepatan atau laju terjadinya suatu reaksi kimia. Di dalam proses penyerapan H_2SO_4 pada tanaman *T.latifolia* terjadi reaksi kimia yang memungkinkan dihitungnya besar kecepatan atau laju dari proses tersebut. Sehingga diperlukan perbandingan orde 0 dan orde 1 untuk melihat laju reaksi yang signifikan. Kinetika orde 1 dapat dihitung dengan memplot nilai $\ln (\text{H}_2\text{SO}_4)$ dan hari pengukuran (t) ke dalam grafik. Kinetika orde 0 didapatkan dengan memplotkan t (waktu) dengan Ct (kadar pada tiap waktu pencuplikan). Grafik kinetika reaksi orde 1 dan 0 pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut:





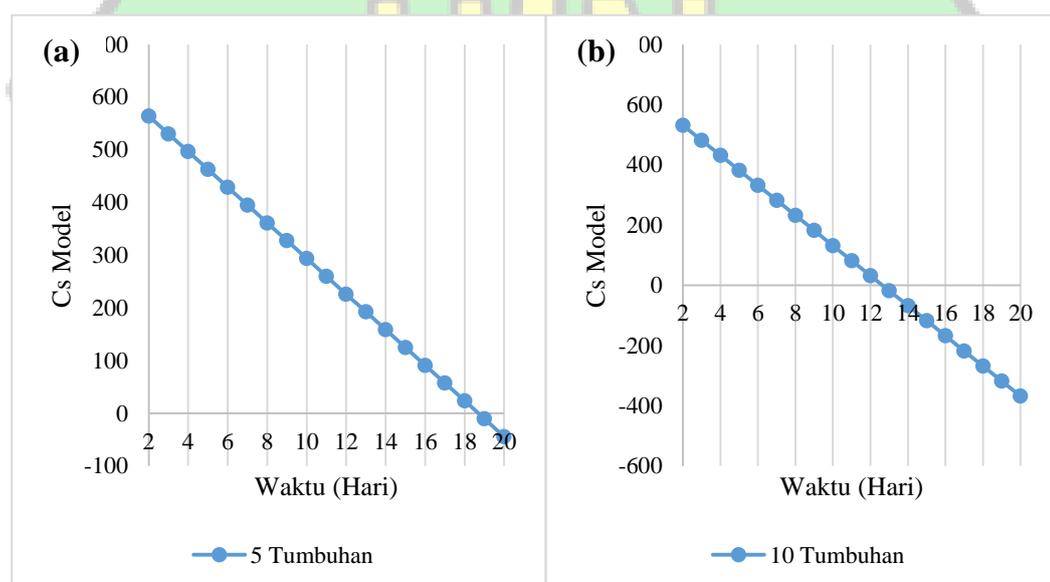
Gambar 4.9 Grafik kinetika 5 tumbuhan reaksi orde 0 (a) dan orde 1 (b) dan grafik kinetika 10 tumbuhan orde 0 (c) dan orde 1 (d) garis — (linear).

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat disimpulkan bahwa orde reaksi yang terjadi pada proses penyerapan H_2SO_4 pada tumbuhan *T. latifolia* mengikuti kinetika orde 0. Hal ini dapat dilihat dari kelinieritasan kurva yang ditunjukkan oleh koefisien korelasi linier pada kurva orde 0 ($R^2 = 0,9911$) 5 tumbuhan (a) dan ($R^2 = 0,9987$) 10 tumbuhan (c), yang berarti hasil ini menunjukkan tingkat kepercayaan mencapai 99% pada masing-masing tumbuhan. Nilai R^2 tersebut menjelaskan bahwa reaksi biodegradasi yang terjadi sepenuhnya mengikuti teori dasar dari reaksi orde-0 yang menunjukkan terjadinya penurunan kontaminan dan laju reaksi secara signifikan (Rambe, 2015). Nilai Y yaitu nilai konstanta laju reaksi penyerapan yang dapat dilihat pada kemiringan garis linear. Persamaan garis lurus yang terbentuk pada orde 0 yaitu sebesar 33,795 hari pada 5 tumbuhan dan 49,978 pada 10 tumbuhan. Nilai Y artinya laju penguraian/degradasi mikroorganisme yang terjadi pada akar tumbuhan terhadap H_2SO_4 dalam 1 hari (Rambe, 2015).

Sedangkan orde 1 diperoleh tingkat kepercayaan mencapai 96% yang diperoleh dari masing-masing tumbuhan yaitu ($R^2 = 0,9692$) 5 tumbuhan (2) dan ($R^2 = 0,969$) 10 tumbuhan (4). Nilai R^2 tersebut menjelaskan bahwa reaksi fitoremediasi yang terjadi sepenuhnya mengikuti teori dasar dari reaksi orde 1 tetapi tingkat kepercayaan nilai R^2 pada orde 1 tidak terlalu besar dibandingkan R^2 pada orde 0 (Hajar dkk., 2016). Nilai Y pada orde 1 tidaklah signifikan seperti orde 0 yaitu $k = 0,0731$ pada 5 tumbuhan dan $k = 0,1458$ pada 10 tumbuhan.

4.2.3. Perbandingan pemodelan kinetika penyisihan dan penyerapan H_2SO_4

Perbandingan pemodelan kinetika dilakukan untuk menentukan model kinetik mana dalam literatur yang paling sesuai dengan data yang diperoleh dalam penelitian. Perbandingan yang dilakukan antara reaktor 5 tumbuhan dan 10 tumbuhan dalam kinetika orde 0. Penetapan orde 0 pada penelitian ini dikarenakan pada pembahasan sebelumnya telah terbukti bahwasanya reaksi biodegradasi yang terjadi sepenuhnya mengikuti teori dasar dari reaksi orde-0 yang menunjukkan terjadinya penurunan kontaminan dan laju reaksi secara signifikan. Data yang digunakan untuk model ini didasarkan pada penghilangan kontaminan dari serapan kontaminan di dalam tanaman yang dianalisis. Sehingga pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.10 sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik pemodelan kinetika penurunan, penyisihan dan penyerapan H_2SO_4 . (a) Model 5 tumbuhan dan (b) model 10 tumbuhan.

Berdasarkan hasil yang dipaparkan, perlu dilakukan pemodelan kinetika untuk mengetahui hasil yang paling optimum untuk mendapatkan batas waktu yang maksimum. Hasil kinetika penurunan, penyisihan dan penyerapan H_2SO_4 dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Batas maksimum hasil yang paling optimal terjadi di hari ke-13 pada grafik pemodelan 10 tumbuhan. Hasil yang didapatkan memiliki nilai penyisihan yang cukup jauh dengan

penggunaan waktu pada sistem fitoremediasi. Menurut Syarifah dkk. (2017), hal ini dipengaruhi oleh tumbuhan *T. latifolia* yang mampu menyerap H_2SO_4 . Sehingga, pada proses pengolahan air hujan asam dengan sistem fitoremediasi dapat menggunakan batas waktu yang maksimum untuk mendapatkan hasil yang optimum. Selain itu juga dapat menambah nilai ekonomis, terutama pada jumlah sampel hasil uji dalam pengolahan air hujan asam.



BAB V PENUTUP

5.2.2. Simpulan

Adapun simpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah:

1. Waktu retensi fitoremediasi berpengaruh ($0,00 < \text{probabilitas } 0,05$) terhadap efektivitas reduksi konsentrasi H_2SO_4 di dalam air hujan. Penurunan konsentrasi H_2SO_4 mencapai baku mutu pada 5 hari untuk 10 tumbuhan dengan konsentrasi penurunan mencapai 77,70% dan pada 8 hari untuk 5 tumbuhan dengan konsentrasi penurunan mencapai 51,30%. Waktu retensi fitoremediasi juga berpengaruh ($0,00 < \text{probabilitas } 0,05$) terhadap penetralan pH pada 10 tumbuhan mencapai 7,8, dan pada 5 tumbuhan mencapai 7,6.
2. Jumlah tumbuhan berpengaruh ($0,00 < \text{probabilitas } 0,05$) terhadap efektivitas reduksi konsentrasi H_2SO_4 dan penetralan nilai pH di dalam air hujan. Reaktor fitoremediasi 10 tumbuhan mampu mereduksi konsentrasi H_2SO_4 di dalam air hujan dari 631,631 mg/l, menjadi 141,020 mg/l, serta nilai pH 5,2 menjadi 7,8. Sedangkan reaktor fitoremediasi 5 tumbuhan mampu mereduksi konsentrasi H_2SO_4 di dalam air hujan dari 631,631 mg/l, menjadi 307,692 mg/l, serta nilai pH 5,2 menjadi 7,6. Berdasarkan hasil pengukuran, pada semua hari yang sama, reaktor dengan 10 tumbuhan lebih efektif dari pada 5 tumbuhan.
3. Model kinetika laju reaksi yang paling tepat untuk fitoremediasi H_2SO_4 pada air hujan menggunakan *T. latifolia* adalah model kinetika orde 0, dengan nilai R^2 sebesar 99,1 untuk 10 tumbuhan dan $R^2 = 99,9$ untuk 5 tumbuhan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat kepercayaan model kinetika orde 0 mencapai 99,1% dan 99,9% untuk masing-masing kelompok eksperimen dengan 10 tumbuhan dan 5 tumbuhan. Sedangkan model kinetika orde 1 hanya memiliki nilai $R^2 = 96,2$ untuk 5 tumbuhan dan $R^2 = 96,9$ untuk 10 tumbuhan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat kepercayaan model kinetika orde 1 mencapai 96,2% dan 96,9% untuk masing-masing kelompok eksperimen dengan 10 tumbuhan dan 5 tumbuhan.

5.2. Saran

Adapun saran dan masukan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif dalam penyelamatan air hujan terhadap hujan asam.
2. Diperlukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan efektivitas serta efisiensi perancangan dan perencanaan terhadap tanaman *Typha Latifolia* dalam penyelamatan air hujan menggunakan sistem *green roof*.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani, H., Izzati Munifatul, M. dan Sudarno, S (2018). “Kemampuan Tumbuhan *Typha Angustifolia* dalam Sistem *Subsurface Flow Constructed Wetland* untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk (Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat).” *Teknik Lingkungan* 8(4–5).
- Aka, H.A., Suhendrayatna, S. dan Syaubari, S. (2017). “Penurunan Kadar Amonia dalam Limbah Cair oleh Tanaman Air *Typha Latifolia* (Tanaman Obor).” *Jurnal Ilmu Kebencanaan (Jika)* 4(3):72–75.
- Artiyani, A. (2011). “Penurunan Kadar N-Total dan P-Total pada Limbah Cair Tahu dengan Metode Fitoremediasi Aliran *Batch* dan *Kontinyu* Menggunakan Tanaman *Hydrilla Verticillata*.” *Spectra* 9(18):9–14.
- Azwari, F. dan Triyono, J. (2019). “Fitoremediasi Logam Fe dalam Air Asam Tambang Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*).” *Buletin Loupe* 15(02):42–45.
- Budiwati, T. (2004). “Analisis Hujan Asam dan Co₂ Atmosfer.” *Analisis Hujan Asam* 276–81.
- Cahyana, G.H., dan Aulia, A.N. (2019). “Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Menggunakan.” *Envirosun* 2(2):58–64.
- Cahyono, W.E. (2007). “Pengaruh Hujan Asam pada Biotik dan Abiotik.” *Peneliti Bidang Pengkajian Ozon Dan Polusi Udara* 8(3):48–50.
- Chua, J., Jessa, M.B., Arcilla, I., Orbecido, A., Castro, M.E., Ledesma, N., Deocariz, C., Madrazo, C., Belo, L. (2019). “*Phytoremediation Potential and Copper Uptake Kinetics of Philippine Bamboo Species in Copper Contaminated Substrate Jennivee*.” *Heliyon* 5(5):2–9.
- Corsita, L. dan Soedjono, E.S. (2003). “Laju Serapan Logam Pb Oleh Cattail (*Typha Latifolia*) dengan Metode Hidroponik dan Lahan Basah Buatan.” *Jurnal Purifikasi* 5(3):139–44.
- Evasari, J. (2012). “Pemanfaatan Lahan Basah Buatan dengan Menggunakan Tanaman *Typha Latifolia* untuk Mengelola Limbah Cair Domestik (Studi Kasus: Limbah Cair Kantin Fakultas Teknik Universitas Indonesia).” Universitas Indonesia.
- Fajarwati, N.H., Parnanto, N.H.R., dan Manuhara, G.J (2017). “Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat dan Suhu Pengeringan Terhadap Karakteristik Fisik, Kimia dan Sensoris Manisan Kering Labu Siam (*Sechium Edule Sw.*) Dengan Pemanfaatan Pewarna Alami Dari Ekstrak Rosella Ungu (*Hibiscus Sabdariffa L.*).” *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian* 10(1):50–66.
- Fauzi, A. R. (2016). “Implementasi Pengelolaan Air yang Terintegrasi pada *Green Building*.” Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Frischilla, Y., Yulianti, I.M., Jati, W.N. (2017). "Kombinasi Remediasi *Typha Latifolia*, Fermentasi Jerami, dan *Pseudomonas Aeruginosa* dalam Penyerapan Logam Berat Seng (Zn) dari Limbah Cair Industri Batik." *Fakultas Teknobiologi* 3(1):3-4.
- Hajar, E.W.I., Sitorus, R.S., Mulianingias, N., Welan, F.J. (2016). "Efektivitas Adsorpsi Logam Pb^{2+} dan Cd^{2+} Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam." *Konversi* 5(1):1-7.
- Hendriarianti, E., dan Ratna, C.D. (2018). "Penurunan Nutrien Amoniak dan Ipal Komunal Tlogomas dengan Fitoremediasi." Institut Teknologi Nasional Malang.
- Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., dan Hasan, W. (2018). "Analisis Limbah Tumbuhan Fitoremediasi (*Typha Latifolia*, Eceng Gondok, Kiambang) dalam Menyerap Logam Berat." *Serambi Engineering* Iii(2):344-51.
- Irhamni, I., Pandia, S., dan Hasan, W. (2018). "Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Menyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi." *Serambi Engineering* 79.
- Juhaeti, T., Syarif, F., dan Hidayati, N. (2005). "Inventarisasi Tumbuhan Potensial untuk Fitoremediasi Lahan dan Air Terdegradasi Penambangan Emas." *Biodiversitas* 6(1):31-33.
- Mahyudin, M., Soemarno, S., dan Prayogo, T.B. (2015). "Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang." *Pengelolaan Sumber Daya Manusia* 6(2):105-14.
- Maria, E., dan Winarti, C. (2018). "Removal Limbah Cair Industri Batik dengan Metode Fitoremediasi pada Ssf-Wetland Menggunakan Tanaman Obor (*Typha Latifolia*) dan Tanaman Tasbih (*Canna Indica.L*)." *Prosiding Seminar Nasional Dan Call For Papers* 8(14-15):19-25.
- Mona, M.G., Kekenusa, J.S., Prang, J.D. (2015). "Penggunaan Regresi Linear Berganda untuk Menganalisis Pendapatan Petani Kelapa Studi Kasus : Petani Kelapa di Desa Beo , Kecamatan Beo Kabupaten Talaud." *Jdc* 2(4):1-8.
- Novia, D.P., Fauziah, D.N., dan Pramita, A. (2020). "Penggunaan Media *Bioball* dan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) Sebagai *Biofilter Aerobik* Pada Pengolahan Limbah Cair Rumah." *Journal Of Research And Technology* 6(1):131-36.
- Nugraha, A. (2018). "Pemanfaatan Media Tanam Hidroponik sebagai Media Tanam *Green roof*." Institut Pertanian Bogor.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32. Tahun (2017). "Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus Per Aqua*, dan Pemandian Umum." *Menteri Kesehatan Republik Indonesia* 1-31.

- Prayitno, P., dan Sholeh, M. (2014). "Pengurangan Nitrogen pada Limbah Cair Terolah Sistem *Wetland* Buatan." *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik* 30(2):79–86.
- Purwanti, P., Elystia, S., dan Sasmita, A. (2014). "Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Fitoremediasi Menggunakan *Typha Latifolia*." 1(2):1–9.
- Rahim, S.E., Damiri, N., dan Zaman, C. (2018). "Pemanenan Air Hujan dan Prediksi Aliran Limpasan dari Atap dan Halaman Rumah sebagai Alternatif Penyediaan Air Bersih." *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia* 1(1):131–40.
- Rambe, S.M. (2015). "Penentuan Model Kinetika Reaksi Hidrolisis pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan *Anaerobic Baffle Reactor Determination*." *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* 26(2):77–84.
- Samudro, G., dan Rulian, E.R.A. (2011). "Studi Penurunan Kekeruhan dan *Total Suspended Solids* (TSS) dalam Bak Penampung Air Hujan (PAH) Menggunakan Reaktor *Gravity Roughing Filter* (GRF)." *Jurnal Presipitasi* 8(11):14–20.
- Sarina, S., Mafazi, N., Rahmania, R., dan Yusibani, E. (2015). "*Rainwater Quality Measurements In The Area Of Bricks Manufacturing At Kajhu Aceh Besar*." *Journal Of Aceh Physics Society* 4(1):3–4.
- Satriawan, D. (2018). "Analisis Kuantitatif *Acidity Level* sebagai Indikator Kualitas Air Hujan di Kabupaten Cilacap Pendahuluan Landasan Teori *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*." *Jurnal Rekayasa Sistem Industri* 3(2):112–16.
- Standar Nasional Indonesia. 2014. Air dan Air Limbah-Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan Alat pH Meter (SNI 06-6989.11-2004), Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2009. Air dan Air Limbah-Bagian 20: Cara Uji Sulfat (SO_4^{2-}) secara Turbidimetri (SNI 6989.20:2009), Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Sukarsono, S. (2004). "Kajian Pengurangan SO_2 Dan NO_x dari Gas Buang Hasil Pembakaran dengan Akselerator." *Ganendra* 7(1):15–24.
- Sulthoni, M.A.D.N., Badruzsaufari, B., Yusran, F.H., dan Pujawati, E.D. (2014). "Kemampuan Tanaman Ekor Kucing (*Typha Latifolia*) dan Purun Tikus (*Eleocharis Dulcis*) dalam Penurunan Konsentrasi Fe dan Mn dari Air Limbah Pit Barat PT Pamapersada Nusantara Distrik KCMB Kabupaten Banjar." *Enviroscientiae* 10(2):80–87.
- Supriatin, L.S., Cahyono, W.E., Syafrizon, S. (2017). "Pengaruh Kualitas Air Hujan pada Konsentrasi Metana." *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*

2(2):103–9.

Undang-Undang Republik Indonesia No.32. Tahun (2009). “Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.” *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009* (1):1–71.

Vidianto, D.Z., dan Fatimah, S., dan Wasonowati, C. (2006). “Penerapan Panjang Talang dan Jarak Tanam dengan Sistem Hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*) pada Tanaman Kailan (*Brassica Oleraceae Var. Alboglabra*).” *Agrovigor* 6(2):128–35.

Wardhani, N.K., Ihwan, A., dan Nurhasana, N. (2015). “Studi Tingkat Keasaman Air Hujan Berdasarkan Kandungan Gas CO₂, SO₂ Dan NO₂ di Udara (Studi Kasus Balai Pengamatan Dirgantara Pontianak).” *Prisma Fisika* 3(1):9–14.

Wibowo, S., dan Asriyanti, S.A. (2013). “Aplikasi Hidroponik NFT pada Budidaya Pakcoy (*Brassica Rapa Chinensis*).” *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 13(3):159–67.

Yatim, E.M. (2007). “Dampak dan Pengendalian Hujan Asam.” *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 2(1):146–51.

Yulistyorini, A. (2011). “Pemanenan Air Hujan sebagai Alternatif Pengelolaan Sumber Daya Air di Perkotaan Anie.” *Teknologi Dan Kejuruan* 34(1):105–14.

Yusuf, Y. (2011). “Dampak Negatif Hujan Asam bagi Makhluk Hidup dan Pengendaliannya.” *Sigma Jurnal* 3(2):1–9.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Tahapan Persiapan Reaktor dan Pengujian

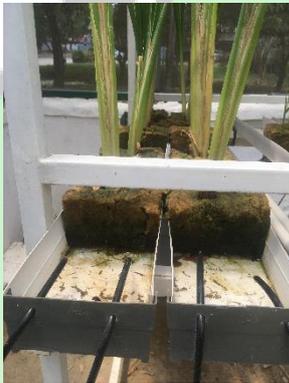
	
Persiapan Reaktor	Pengambilan Tumbuhan
	
Tumbuhan <i>Typha Latifolia</i>	Pemasangan Pompa
	
Pengambilan Sampel	Lokasi Sampel



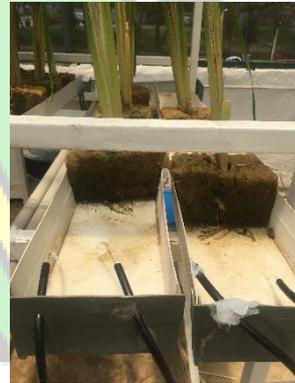
Lokasi Pemasangan



Penanaman dan Mulai Aklimatisasi



Reaktor 10 Tumbuhan



Reaktor 5 Tumbuhan



Kondisi Tumbuhan Hari ke-1



Kondisi Tumbuhan Hari ke-2



Kondisi Tumbuhan Hari ke-3



Kondisi Tumbuhan Hari ke-4



Kondisi Tumbuhan Hari ke-5



Kondisi Tumbuhan Hari ke-6



Kondisi Tumbuhan Hari ke-7



Kondisi Tumbuhan Hari ke-8



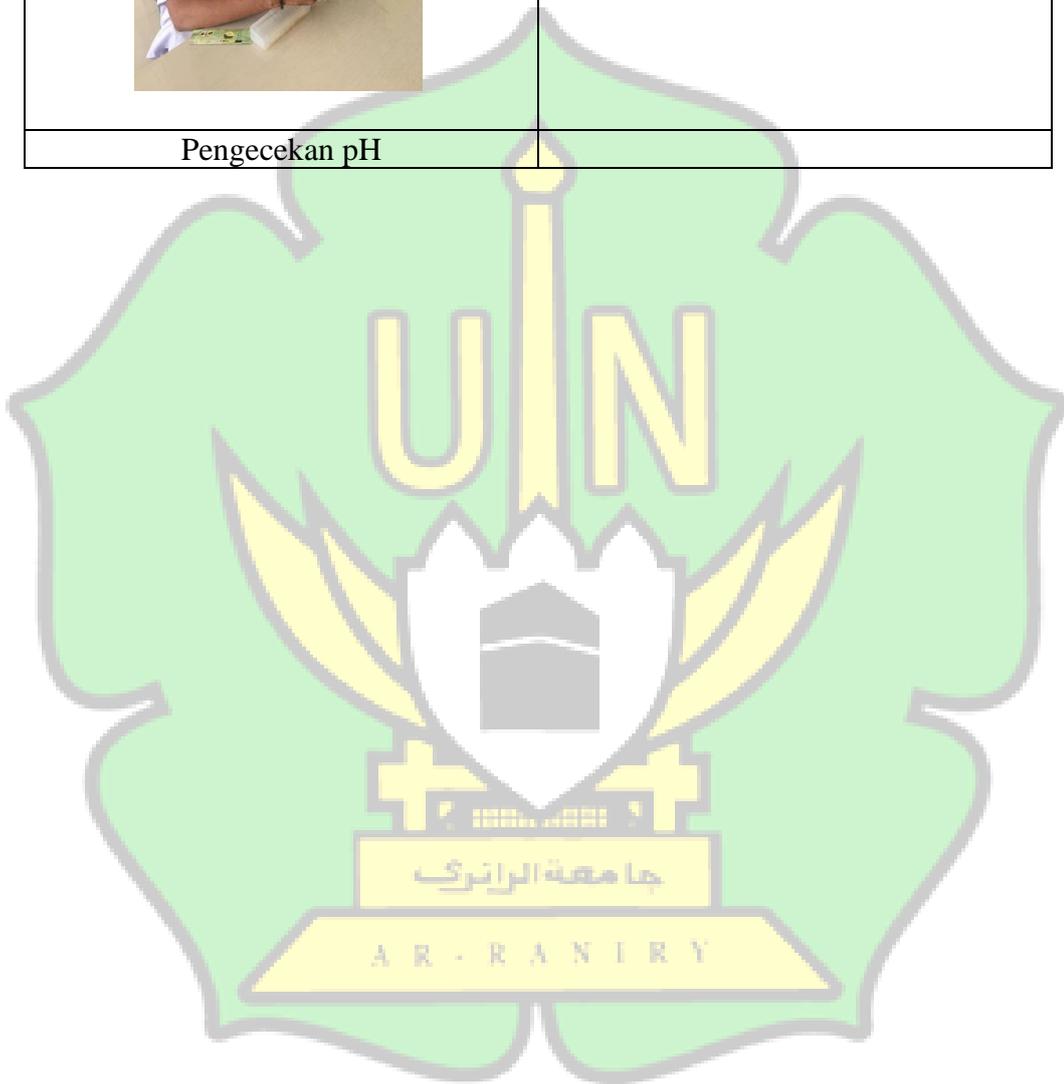
Kondisi Tumbuhan Hari ke-9



Kondisi Tumbuhan Hari ke-10



Pengecekan pH



Lampiran 2. Perhitungan Parameter

Asam sulfat (H_2SO_4) dan efektivitas perbandingan.

Pengukuran dari efektivitas sulfat (H_2SO_4), dilakukan Persamaan 4.

$$EP = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

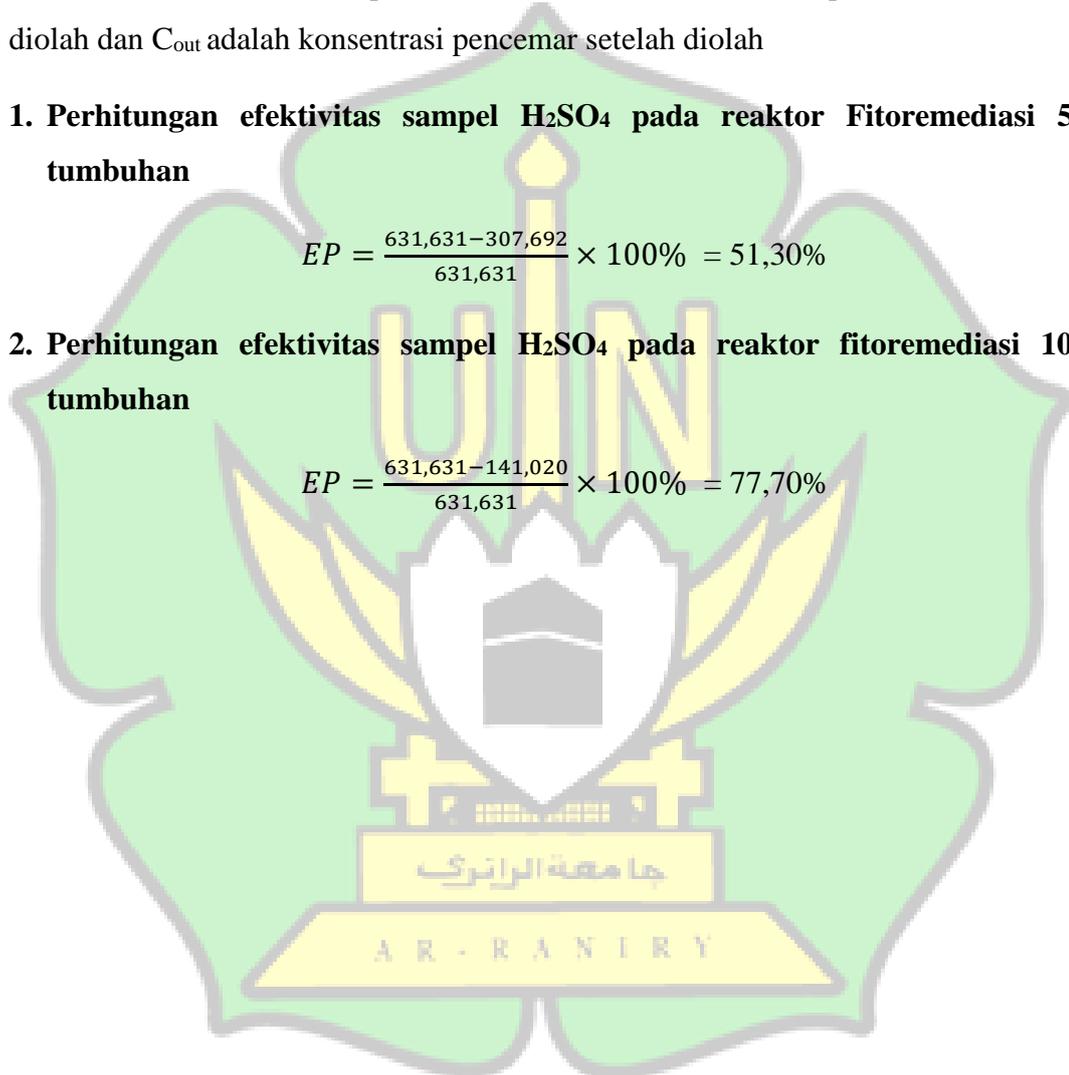
EP adalah nilai efektivitas penurunan, C_{in} adalah konsentrasi pencemar sebelum diolah dan C_{out} adalah konsentrasi pencemar setelah diolah

1. Perhitungan efektivitas sampel H_2SO_4 pada reaktor Fitoremediasi 5 tumbuhan

$$EP = \frac{631,631 - 307,692}{631,631} \times 100\% = 51,30\%$$

2. Perhitungan efektivitas sampel H_2SO_4 pada reaktor fitoremediasi 10 tumbuhan

$$EP = \frac{631,631 - 141,020}{631,631} \times 100\% = 77,70\%$$



Lampiran 3 perhitungan Kinetika Laju Reaksi Orde 1 dan orde 0 Tumbuhan

Tabel 1 Hasil perhitungan pemodelan kinetika laju reaksi orde 1 tumbuhan *typha latifolia* Terhadap H₂SO₄

Jumlah Tanaman	Waktu (Hari)	Hasil Uji H ₂ SO ₄	ln CS	kt	exp kt	Coexp kt
5	0	631,631	6,448305	0	1	631,631
	1	613,153	6,418614	-0,0731	0,929508	587,106
	2	591,111	6,382004	-0,1462	0,863985	545,7196
	3	563,781	6,334666	-0,2193	0,803081	507,2507
	4	530,474	6,273771	-0,2924	0,74647	471,4935
	5	493,438	6,201397	-0,3655	0,69385	438,2569
	6	456,981	6,124642	-0,4386	0,644939	407,3633
	7	418,692	6,037136	-0,5117	0,599476	378,6474
	8	376,006	5,929605	-0,5848	0,557217	351,9557
	9	340,960	5,831765	-0,6579	0,517938	327,1456
	10	307,692	5,729099	-0,731	0,481427	304,0844
10	0	631,631	6,448305	0	1	631,631
	1	585,093	6,371771	-0,1458	0,864331	545,938
	2	537,667	6,287239	-0,2916	0,747067	471,8709
	3	487,011	6,188287	-0,4374	0,645713	407,8524
	4	431,313	6,066834	-0,5832	0,55811	352,5193
	5	372,253	5,919574	-0,729	0,482391	304,6932
	6	323,232	5,77837	-0,8748	0,416945	263,3556
	7	276,674	5,62284	-1,0206	0,360379	227,6263
	8	231,507	5,44461	-1,1664	0,311486	196,7444
	9	185,758	5,224445	-1,3122	0,269227	170,0522
	10	141,020	4,948902	-1,458	0,232701	146,9813

Tabel 2 Hasil perhitungan pemodelan kinetika laju reaksi orde 0 tumbuhan *typha latifolia* Terhadap H₂SO₄

Jumlah Tanaman	Waktu (Hari)	Hasil Uji H ₂ SO ₄	dcs/dt	kt	k	Cs model
5	0	631,631		-33,795	0	631,631
	1	613,153	-18,478	-33,795	-33,795	597,836
	2	591,111	-22,042	-33,795	-67,59	564,041
	3	563,781	-27,33	-33,795	-101,385	530,246
	4	530,474	-33,307	-33,795	-135,18	496,451
	5	493,438	-37,036	-33,795	-168,975	462,656
	6	456,981	-36,457	-33,795	-202,77	428,861
	7	418,692	-38,289	-33,795	-236,565	395,066
	8	376,006	-42,686	-33,795	-270,36	361,271
	9	340,960	-35,046	-33,795	-304,155	327,476
	10	307,692	-33,268	-33,795	-337,95	293,681

10	0	631,631	-32,3939	-49,978	0	631,631
	1	585,093	-46,538	-49,978	-49,978	581,653
	2	537,667	-47,426	-49,978	-99,956	531,675
	3	487,011	-50,656	-49,978	-149,934	481,697
	4	431,313	-55,698	-49,978	-199,912	431,719
	5	372,253	-59,06	-49,978	-249,89	381,741
	6	323,232	-49,021	-49,978	-299,868	331,763
	7	276,674	-46,558	-49,978	-349,846	281,785
	8	231,507	-45,167	-49,978	-399,824	231,807
	9	185,758	-45,749	-49,978	-449,802	181,829
	10	141,020	-44,738	-49,978	-499,78	131,851



Lampiran 4. Metode Pengujian Parameter Limbah

Metode pengambilan contoh sampel menurut (SNI 6989.59:2008):

1. Persyaratan alat pengambil contoh sampel

Alat pengambil contoh sampel harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat contoh.
- b. Mudah dicuci dari bekas contoh sebelumnya.
- c. Contoh mudah dipindahkan ke dalam botol penampung tanpa ada sisa bahan tersuspensi di dalamnya.
- d. Mudah dan aman di bawa.
- e. Kapasitas alat tergantung dari tujuan pengujian.

2. Jenis alat pengambil contoh sampel

Alat pengambil contoh sampel sederhana dapat berupa ember plastik yang dilengkapi dengan tali atau gayung plastik yang bertangkai panjang.

3. Pengambilan contoh sampel

Cara pengambilan contoh sampel untuk pengujian kualitas air sebagai berikut:

- a. Siapkan alat pengambil contoh sesuai dengan saluran pembuangan.
- b. Bilas alat dengan contoh yang akan diambil, sebanyak 3 (tiga) kali.
- c. Ambil contoh sesuai dengan peruntukan analisis dan campurkan dalam penampung sementara, kemudian homogenkan.
- d. Masukkan ke dalam wadah yang sesuai peruntukan analisis.
- e. Lakukan segera pengujian untuk parameter suhu, kekeruhan dan daya hantar listrik, pH dan oksigen terlarut yang dapat berubah dengan cepat dan tidak dapat diawetkan.
- f. Hasil pengujian parameter lapangan dicatat dalam buku catatan khusus.
- g. Pengambilan contoh untuk parameter pengujian di laboratorium dilakukan pengawetan.

1. Pengujian Parameter H₂SO₄ (SNI 6989.20:2009)

Cara pengujian parameter H₂SO₄ ditujukan sesuai (SNI 6989.20:2009) ditujukan sebagai berikut:

5. Pembuatan larutan kerja sulfat

Buat deret larutan kerja dari larutan baku sulfat dengan 1 blanko dan minimal 3 kadar yang berbeda secara proporsional dan berada pada rentang pengukuran.

6. Pembuatan kurva kalibrasi

f. Operasionalkan dan optimalkan spektrofotometer atau turbidimeter sesuai dengan cara kerja alat.

g. Pindahkan masing-masing 100 ml larutan kerja ke dalam labu erlenmeyer 250 ml atau gelas piala 250 ml.

h. Tambahkan 20 ml larutan buffer A. Aduk dengan alat pengaduk pada kecepatan konstan, selama pengadukan tambahkan 1 sendok takar kristal BaCl₂, pengadukan diteruskan selama 60 ± 2 detik terhitung dari penambahan BaCl

i. Ukur serupanya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm atau ukur turbiditasnya dengan turbidimeter pada waktu 5 ± 0,5 menit.

j. Buat kurva kalibrasi atau tentukan persamaan garis regresinya.

7. Prosedur kerja pengujian H₂SO₄

e. pipet 100 mL contoh uji atau sejumlah contoh uji yang telah diencerkan menjadi 100 mL, masukkan ke dalam labu Erlenmeyer 250 mL atau gelas piala 250 m.

f. Tambahkan 20 ml larutan buffer A aduk dengan alat pengaduk pada kecepatan konstan selama pengadukan tambahkan, 1 sendok takar kristal BaCl₂, pengadukan diteruskan selama 60 ± 2 detik terhitung dari penambahan BaCl₂.

g. ukur serapannya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm atau ukur turbiditasnya dengan turbidimeter pada waktu 5 ± 0,5 menit.

h. catat serapannya atau turbiditasnya.

8. Perhitungan pengujian H₂SO₄

$$\text{Kadar Sulfat (mg SO}_4^{2-}/\text{L)} = C \times f$$

C = kadar sulfat yang diperoleh dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam miligram per liter (mg/L).

F = faktor pengenceran.

2. Pengujian Parameter pH (SNI 06-6989.11-2004)

Cara pengujian parameter pH ditujukan sesuai (SNI 06-6989.11-2004) ditujukan sebagai berikut:

1. Prinsip pengukuran pH

Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktivitas ion hidrogen secara potensiometri/elektrometri dengan menggunakan pH meter.

2. Larutan penyangga (buffer)

a. Larutan penyangga, pH 4,004 (250 C).

Timbangkan 10,12g kalium hidrogen ptalat, $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$, larutkan dalam 1000mL air suling.

b. Larutan penyangga, pH 6,863 (250 C).

Timbangkan 3,387g kalium dihidrogen fosfat, KH_2PO_4 dan 3,533g dinatrium hidrogen fosfat, Na_2HPO_4 , dilarutkan dalam 1000 mL air suling.

c. Larutan penyangga, pH 10,014 (250 C).

Timbangkan 2,092g natrium hidrogen karbonat, NaHCO_3 dan 2,640g natrium karbonat, Na_2CO_3 , larutkan dalam 1000 mL air suling.

3. Peralatan dalam pengukuran pH

a. pH meter dengan perlengkapannya.

b. Pengaduk gelas atau magnetik.

c. Gelas piala 250 mL.

d. Kertas tissue.

e. Timbangan analitik.

f. Termometer.

4. Persiapan pengujian pH

a. Lakukan kalibrasi alat pH-meter dengan larutan penyangga sesuai instruksi kerja alat setiap kali akan melakukan pengukuran.

- b. Untuk contoh uji yang mempunyai suhu tinggi, kondisikan contoh uji sampai suhu kamar.
5. Prosedur kerja pH
 - a. Keringkan dengan kertas tisu selanjutnya bilas elektroda dengan air suling.
 - b. Bilas elektroda dengan contoh uji.
 - c. Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap.
 - d. Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter.



Lampiran 5. Analisis SPSS Regresi Linier Sederhana

1. Regression Waktu (Hari) Terhadap H₂SO₄ Reaktor Fitoremediasi 5 tumbuhan

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Hari ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Sulfat			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.996 ^a	.991	.990	11.222
a. Predictors: (Constant), Hari				

ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	125631,426	1	125631,426	997,529	.000 ^b
	Residual	1133,484	9	125,943		
	Total	126764,910	10			
a. Dependent Variable: Sulfat						
b. Predictors: (Constant), Hari						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	652,968	6,330		103,150	.000
	Hari	-.33,795	1,070	-.996	-31,584	.000
a. Dependent Variable: Sulfat						

2. Regression Waktu (Hari) Terhadap H₂SO₄ Reaktor Fitoremediasi 10 tumbuhan

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Hari ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: Sulfat			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.999 ^a	.999	.999	6,353
a. Predictors: (Constant), Hari				

ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	274763,051	1	274763,051	6808,542	.000 ^b
	Residual	363,201	9	40,356		
	Total	275126,252	10			
a. Dependent Variable: Sulfat						
b. Predictors: (Constant), Hari						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	631,998	3,583		176,370	.000
	Hari	-.49,978	,606	-.999	-82,514	.000
a. Dependent Variable: Sulfat						

3. Regression Waktu (Hari) Terhadap pH Reaktor Fitoremediasi 5 tumbuhan

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Hari ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: pH			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.987 ^a	.973	.970	.142
a. Predictors: (Constant), Hari				

ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6,627	1	6,627	328,050	.000 ^b
	Residual	.182	9	.020		
	Total	6,809	10			
a. Dependent Variable: pH						
b. Predictors: (Constant), Hari						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4,964	,080		61,911	.000
	Hari	.245	.014	.987	18,112	.000
a. Dependent Variable: pH						

4. Regression Waktu (Hari) Terhadap H₂SO₄ Reaktor Fitoremediasi 10 tumbuhan

Variables Entered/Removed ^a			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Hari ^b	.	Enter
a. Dependent Variable: pH			
b. All requested variables entered.			

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.989 ^a	.979	.977	.150
a. Predictors: (Constant), Hari				

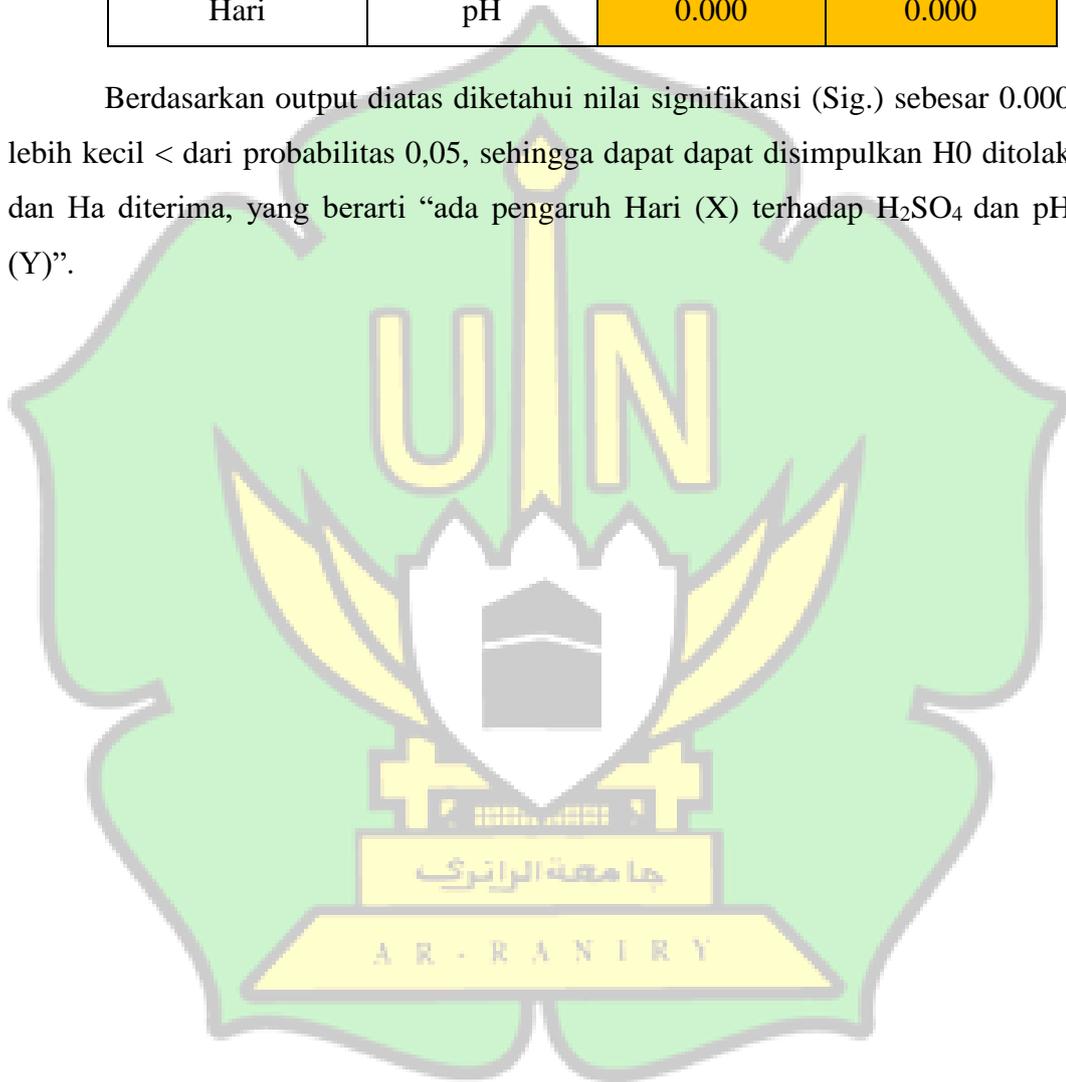
ANOVA						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9,484	1	9,484	420,870	.000 ^b
	Residual	.203	9	.023		
	Total	9,687	10			
a. Dependent Variable: pH						
b. Predictors: (Constant), Hari						

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5,086	.085		60,067	.000
	Hari	.294	.014	.989	20,515	.000
a. Dependent Variable: pH						

Tabel 1. Hasil uji regresi linear sederhana antara hari dengan parameter H₂SO₄ dan pH, COD, tabel dengan arsir oren menunjukkan hasil berpengaruh.

Hubungan		Nilai sig 0,05	
		5 Tumbuhan	10 Tumbuhan
Hari	H ₂ SO ₄	0.000	0.000
Hari	pH	0.000	0.000

Berdasarkan output diatas diketahui nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0.000 lebih kecil < dari probabilitas 0,05, sehingga dapat dapat disimpulkan H₀ ditolak dan H_a diterima, yang berarti “ada pengaruh Hari (X) terhadap H₂SO₄ dan pH (Y)”.



Lampiran 5 Hasil uji sampel parameter H₂SO₄



**PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN**

Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureuch No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax. (0651) 23834 Banda Aceh
E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: <http://labkes-aceh.blogspot.com>



HASIL UJI ANALISA AIR

No Order : 306 – 326
 No. Sampel : 264 – 284 / 1 – 21 / IV / 2021
 Nama Pengirim : Teuku Syahkumala
 Alamat : -
 Petugas Pengambil : Teuku Syahkumala
 Tanggal Ambil : 15 April 2021 Jam : -
 Tanggal Terima : 19 April 2021 Jam : 12.15 Wib
 Tanggal Analisa : 19 s/d 26 April 2021
 Jenis sampel : Air Bersih (Air Hujan)
 Lokasi : Khaju – Aceh Besar
 Pengawet : -
 Baku Mutu : Per.Men.Kes.RI.No.32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi.

No	Kode Sampel	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Acuan Metode
1	Uji Awal				631,631	
2	H1 - T5				613,153	
3	H1 - T10				585,093	
4	H2 - T5				591,111	
5	H2 - T10				537,667	
6	H3 - T5				563,781	
7	H3 - T10				487,011	
8	H4 - T5				530,474	
9	H4 - T10				431,313	
10	H5 - T5				498,438	
11	H5 - T10	Sulfat (SO ₄)	mg/l	400	372,253	SNI 6989.20-2009
12	H6 - T5				456,981	
13	H6 - T10				323,232	
14	H7 - T5				307,692	
15	H7 - T10				276,674	
16	H8 - T5				376,006	
17	H8 - T10				231,507	
18	H9 - T5				340,960	
19	H9 - T10				185,758	
20	H10 - T5				307,692	
21	H10 - T10				141,020	

FR.IV/KKT.02/REV:1

Catatan :

- Lembar hasil pemeriksaan tidak diumumkan & hanya berlaku untuk contoh tersebut di atas
- Lembar hasil pemeriksaan tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dari Kepala UPTD Balai Laboratorium Kesehatan Aceh
- Parameter pemeriksaan ini sesuai dengan Permenkes RI.No.32 tahun 2017
- Pengambilan sampel tidak dilakukan oleh petugas LabKes, Laboratorium hanya Bertanggung jawab terhadap sampel yang diterima oleh LabKes



Rekha Melati, SKM
Nip. 19720602 199403 2