

**PROYEK AKHIR - VI231629**

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR BESI (FE)  
DAN MANGAN (MN) MENGGUNAKAN METODE  
SPEKTROFOTOMETRI PADA SISTEM FILTRASI AIR**

**WAHYUNI PUTRI WIJAYA**  
NRP 2042211049

Dosen Pembimbing 1  
Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  
NPP 1991201711052

Dosen Pembimbing 2  
Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T  
NPP 1993202012024

**Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Instrumentasi  
Departemen Teknik Instrumentasi  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2025**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**PROYEK AKHIR - VI231629**

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR BESI (FE) DAN  
MANGAN (MN) MENGGUNAKAN METODE  
SPEKTROFOTOMETRI PADA SISTEM FILTRASI AIR**

**WAHYUNI PUTRI WIJAYA**  
NRP 2042211049

Dosen Pembimbing 1  
**Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.**  
NPP 1991201711052

Dosen Pembimbing 2  
**Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T**  
NPP 1993202012024

**Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Instrumentasi**  
Departemen Teknik Instrumentasi  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2025

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - VI231629**

**DESIGN OF AN INSTRUMENT FOR MEASURING IRON  
(FE) AND MANGANESE (MN) LEVELS USING  
SPECTROPHOTOMETRY IN WATER FILTRATION  
SYSTEMS**

**WAHYUNI PUTRI WIJAYA**  
NRP 2042211049

Advisor 1  
**Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.**  
NPP 1991201711052

Advisor 2  
**Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T**  
NPP 1993202012024

**Applied Bachelor Program of Instrumentation Engineering  
Technology**

Department of Instrumentation Engineering  
Faculty of Vocation  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2025

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
PROYEK AKHIR**

**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR BESI (FE) DAN MANGAN (MN)  
MENGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI PADA SISTEM FILTRASI  
AIR**

Oleh:



**Wahyuni Putri Wijaya**

**NRP. 2042211049**

**Surabaya, 31 Juli 2025**

**Menyetujui,  
Pembimbing I**



**Ir. Ahmad Fauzan Adzlimaa, S.T., M.Sc.**  
**NPP. 1991201711052**

**Menyetujui,  
Pembimbing II**

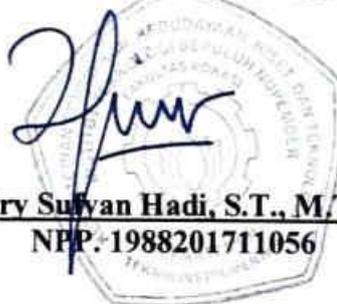


**Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T**  
**NPP. 1993202012024**

**Mengetahui,**

**Kepala Departemen**

**Teknik Instrumentasi FV-ITS**



**Ir. Herry Sulyan Hadi, S.T., M.T., Ph.D**  
**NPP. 1988201711056**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**APPROVAL SHEET**  
**FINAL PROJECT**

**DESIGN OF AN INSTRUMENT FOR MEASURING IRON (FE) AND MANGANESE (MN) LEVELS USING SPECTROPHOTOMETRY IN WATER FILTRATION SYSTEMS**

By:



**Wahyuni Putri Wijaya**  
**NRP. 2042211049**

**Surabaya, 31 July 2025**

**Approved,**  
**Advisor I**



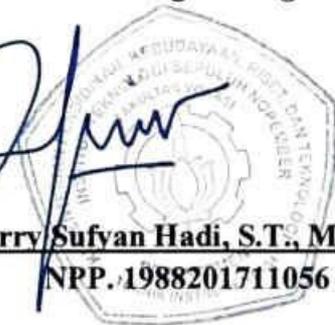
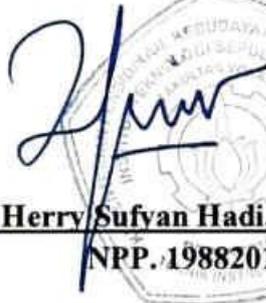
**Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.**  
**NPP. 1991201711052**

**Approved,**  
**Advisor II**



**Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T**  
**NPP. 1993202012024**

**Knowned,**  
**Head of Department**  
**Instrumentation Engineering FV-ITS**



**Ir. Herry Sufyan Hadi, S.T., M.T., Ph.D**  
**NPP. 1988201711056**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

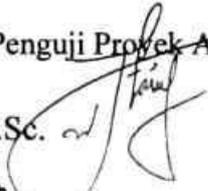
### RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR BESI (FE) DAN MANGAN (MN) MENGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI PADA SISTEM FILTRASI AIR

#### LAPORAN PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada  
Program Studi D-4 Teknologi Rekayasa Instrumentasi  
Departemen Teknik Instrumentasi  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **WAHYUNI PUTRI WIJAYA**  
NRP. 2042211049

Disetujui oleh Tim Penguji ~~Proyek~~ Akhir :

1. Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  Pembimbing
2. Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T  Ko-pembimbing
3. Ir. Herry Sufyan Hadi, S.T., M.T. Ph.D.  Penguji 1
4. Akhmad Ibnu Hija S.T., M.T.  Penguji 2

**SURABAYA**  
**Juli, 2025**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## APPROVAL SHEET

### ***DESIGN OF AN INSTRUMENT FOR MEASURING IRON (FE) AND MANGANESE (MN) LEVELS USING SPECTROPHOTOMETRY IN WATER FILTRATION SYSTEMS***

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree applied bachelor at  
Applied Bachelor Program of Instrumentation Engineering Technology  
Department Instrumentation Engineering  
Faculty of Vocation  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **WAHYUNI PUTRI WIJAYA**

NRP. 2042211049

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  Advisor
2. Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T  Co-Advisor
3. Ir. Herry Sufyan Hadi, S.T., M.T. Ph.D.  Examiner 1
4. Akhmad Ibnu Hija S.T., M.T.  Examiner 2

**SURABAYA**

**July, 2025**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Wahyuni Putri Wijaya  
Program studi : Teknologi Rekayasa Instrumentasi  
Dosen Pembimbing / NPP : Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  
Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T

dengan ini menyatakan bahwa Proyek Akhir dengan judul “**RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR BESI (FE) DAN MANGAN (MN) MENGGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI PADA SISTEM FILTRASI AIR**” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 31 Juli 2025

Mahasiswa

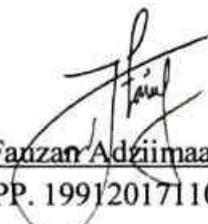


Wahyuni Putri Wijaya  
NRP. 2042211049

Mengetahui,

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,



Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  
NPP. 1991201711052



Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T  
NPP. 1993202012024

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

*The undersigned below:*

*Name of Student / NRP* : Wahyuni Putri Wijaya  
*Department* : Instrumentation Engineering  
*Advosir / NPP* : Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  
Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T

*hereby declare that the Final Project with the title of “DESIGN OF AN INSTRUMENT FOR MEASURING IRON (FE) AND MANGANESE (MN) LEVELS USING SPECTROPHOTOMETRY IN WATER FILTRATION SYSTEMS” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.*

*If in the future there is a discrepancy with this statement, then i am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*

Surabaya, 31 July 2025

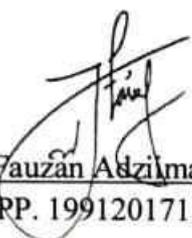
Student



Wahyuni Putri Wijaya  
NRP. 2042211049

*Acknowledged,*

*Advisor 1,*



Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  
NPP. 1991201711052

*Advisor 2,*



Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T  
NPP. 1993202012024

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRAK

### RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR BESI (FE) DAN MANGAN (MN) MENGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI PADA SISTEM FILTRASI AIR

**Nama Mahasiswa / NRP** : Wahyuni Putri Wijaya / 2042211049  
**Departemen** : Teknik Instrumentasi FV – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  
Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T

#### Abstrak

Air sumur sering menjadi sumber utama air bersih bagi masyarakat, namun tingginya kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) di dalamnya dapat menyebabkan masalah kesehatan serius seperti gangguan gastrointestinal, hemosiderosis, dan neurotoksisitas. Pada proyek akhir ini dirancang sistem monitoring kadar Fe dan Mn berbasis metode spektrofotometri menggunakan LED dengan panjang gelombang 510 nm untuk Fe dan 525 nm untuk Mn, serta sensor TCS34725 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Sistem monitoring yang dikembangkan menunjukkan akurasi sebesar 95,65% dan presisi 0,922 untuk Fe, serta akurasi sebesar 82,61% dan presisi 0,998 untuk Mn, dengan nilai linieritas keduanya di atas 0,99, menunjukkan hubungan yang sangat linier antara konsentrasi aktual dan hasil pembacaan sensor. Selain itu, sistem filtrasi air sumur menggunakan kombinasi media silika, zeolit, dan karbon aktif juga berhasil dirancang dan diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rasio 45% silika, 33% zeolit, dan 22% karbon aktif memiliki efektivitas penurunan tertinggi, yaitu 93,88% untuk Fe dan 99,72% untuk Mn, dengan total efektivitas 96,80%. Hasil ini membuktikan bahwa sistem filtrasi yang dirancang mampu menurunkan kadar logam berat mendekati baku mutu air layak pakai.

**Kata kunci:** *Air sumur, besi (Fe), mangan (Mn), sistem filtrasi, sensor TCS34725, ESP32.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRACT

### DESIGN OF AN INSTRUMENT FOR MEASURING IRON (FE) AND MANGANESE (MN) LEVELS USING SPECTROPHOTOMETRY IN WATER FILTRATION SYSTEMS

**Student Name / NRP** : Wahyuni Putri Wijaya / 2042211049  
**Department** : Teknik Instrumentasi FV – ITS  
**Advisor** : Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc.  
Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T

#### Abstract

*Well water is often the main source of clean water for the community, but the high content of iron (Fe) and manganese (Mn) in it can cause serious health problems such as gastrointestinal disorders, hemosiderosis, and neurotoxicity. In this final project, a monitoring system for Fe and Mn levels based on the spectrophotometric method was designed using LEDs with wavelengths of 510 nm for Fe and 525 nm for Mn, as well as a TCS34725 sensor connected to an ESP32 microcontroller. The developed monitoring system showed an accuracy of 95.65% and a precision of 0.922 for Fe, and an accuracy of 82.61% and a precision of 0.998 for Mn, with linearity values both above 0.99, indicating a highly linear relationship between actual concentrations and sensor readings. In addition, a well water filtration system using a combination of silica, zeolite and activated carbon media was also successfully designed and tested. The test results showed that the ratio of 45% silica, 33% zeolite, and 22% activated carbon had the highest reduction effectiveness, which was 93.88% for Fe and 99.72% for Mn, with a total effectiveness of 96.80%. These results prove that the designed filtration system is able to reduce heavy metal levels close to the water quality standards.*

**Keywords:** *Well water, Iron (Fe), Manganese (Mn), filtration system, TCS34725 sensor, ESP32.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat, ridho, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Proyek Akhir ini. Kelancaran kegiatan Proyek Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak dan dukungan moral serta bimbingannya kepada penulis. Oleh karena itu, pada kesempatan ini izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih dan rasa hormat kepada pihak-pihak yang telah membantu:

1. Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga laporan ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
2. Orang tua penulis serta kakak penulis yang selalu memberi doa dan dukungan tak terhingga baik dari materi maupun spiritual sehingga penulis dapat menempuh pendidikan dan menyelesaikan Proyek Akhir ini.
3. Bapak Ir. Herry Sufyan Hadi, S.T., M.T., Ph.D sebagai Kepala Departemen Teknik Instrumentasi FV-ITS.
4. Bapak Ir. Ahmad Fauzan Adziimaa, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Ir. Putri Yeni Aisyah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dan memberi masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini.
5. Bapak Ir. Herry Sufyan Hadi, S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Akhmad Ibnu Hija S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi kritik dan saran yang positif sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini.
6. Teman-teman angkatan 2021 (I27) dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan Laporan Proyek Akhir ini tentunya masih banyak terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan penulis. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi perbaikan dan kesempurnaan atas laporan ini. Demikian laporan ini penulis buat agar bisa dimanfaatkan untuk hal-hal yang baik, penulis mengucapkan permohonan maaf apabila dalam Menyusun laporan ini terdapat kesalahan dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun kita bersama.

Surabaya, 31 Juli 2025

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
<i>APPROVAL SHEET</i> .....	iv
LEMBAR PENGESAHAN .....	vi
APPROVAL SHEET .....	viii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	x
STATEMENT OF ORIGINALITY .....	xii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
KATA PENGANTAR .....	xviii
DAFTAR ISI.....	xx
DAFTAR GAMBAR .....	xxii
DAFTAR TABEL.....	xxiv
BAB 1    PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Batasan Masalah .....	3
1.4    Tujuan.....	3
1.5    Manfaat.....	3
BAB 2    TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Hasil Penelitian Terdahulu .....	5
2.2    Dasar Teori .....	10
2.2.1    Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi .....	11
2.2.1    Konsep Dasar Spektrofotometri .....	11
2.2.2    Interaksi Cahaya dengan Fe dan Mn .....	12
2.2.3    Hukum Beer-Lambert.....	13
2.2.4    Reagen dan Panjang Gelombang Fe dan Mn .....	15
2.2.5    Instrumentasi Spektrofotometer UV-Vis.....	15
2.2.6    Sistem Filter Kadar Fe dan Mn dengan Metode Klorinasi-Filtrasi .....	16
2.2.7    Kombinasi Media untuk Filter Fe dan Mn .....	17
2.2.7.1    Pasir Silika.....	17
2.2.7.2    Karbon Aktif.....	17
2.2.7.3    Mangan Zeolit .....	17
2.2.8    Sensor TCS34725 .....	18

2.2.9	Sistem Pengukuran .....	18
2.2.10	Karakteristik Statik Pengukuran.....	19
2.2.12	<i>Dashboard Monitoring Online</i> .....	21
2.2.12.1	<i>Database</i> Google Spreadsheet.....	21
2.2.12.2	Visualisasi Data Grafana .....	21
2.2.12.3	Integrasi Alat Ukur dengan Google Sheets dan Grafana.....	21
BAB 3	METODOLOGI.....	23
3.1	Studi Pustaka .....	23
3.2	Studi Literatur.....	24
3.3	Pemilihan Komponen .....	24
3.4	Perancangan Sistem.....	27
3.4.1	Perancangan Sistem Monitoring.....	27
3.4.2	Perancangan Sistem Filtrasi.....	34
3.5	Pembuatan Alat Sistem Monitoring dan Sistem Filtrasi .....	36
3.5.1	Validasi Panjang Gelombang Sumber Cahaya.....	37
3.5.2	Pembersihan Pipet dan Kuvet yang digunakan untuk Alat Ukur .....	38
3.6	Pengujian Efektivitas Sistem Filtrasi.....	38
3.7	Perhitungan Volume dan Penentuan Rasio <i>Cartridge</i> pada Sistem Filtrasi.....	38
3.8	Pengambilan Data.....	40
3.9	Analisis data dan Pengujian Laboratorium Eksternal.....	40
3.10	Pembuatan Laporan .....	41
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1	Pengujian Komponen .....	43
4.1.1	Hasil Pengujian Sensor Warna dan Intensitas Cahaya TCS34725.....	43
4.1.2	Pengujian Panjang Gelombang LED.....	47
4.2	Pengujian Karakteristik Alat Ukur Setelah Terintegrasi .....	51
4.3	Pengujian Efektivitas Sistem Filtrasi dan Analisis Data Pengujian Laboratorium Eksternal 53	
4.4	Perbandingan Hasil Uji Laboratorium dan Pembacaan Alat Ukur terhadap Air Hasil Filtrasi .....	54
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran .....	57
	DAFTAR PUSTAKA .....	59
	LAMPIRAN.....	62
	BIODATA PENULIS .....	75

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Skema Umum Spektrofotometri.....	12
<b>Gambar 2.2</b> Skema Spektrofotometer UV-Vis.....	15
<b>Gambar 2.3</b> Kuvet untuk Spektrofotometer .....	16
<b>Gambar 2.4</b> Sensor TCS34725 .....	18
<b>Gambar 2.5</b> Diagram Blok Pengukuran .....	18
<b>Gambar 2.6</b> Google Sheets .....	21
<b>Gambar 2.7</b> Grafana .....	21
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	23
<b>Gambar 3.2</b> Skema <i>Hardware</i> Sistem <i>Monitoring</i> Kadar Fe dan Mn.....	27
<b>Gambar 3.3</b> <i>Wiring Diagram</i> Sistem <i>Monitoring</i> .....	28
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Blok Sistem <i>Monitoring</i> .....	28
<b>Gambar 3.5</b> Tampilan Awal <i>LCD Display</i> .....	29
<b>Gambar 3.6</b> Tampilan <i>LCD Display</i> Kadar Fe.....	29
<b>Gambar 3.7</b> Tampilan <i>LCD Display</i> Kadar Mn .....	30
<b>Gambar 3.8</b> Desain 3D Sistem <i>Monitoring</i> Kadar Fe dan Mn.....	30
<b>Gambar 3.9</b> Desain <i>Hardware</i> Tampak Atas .....	31
<b>Gambar 3.10</b> Hasil Perakitan Alat Ukur Kadar Fe dan Mn .....	32
<b>Gambar 3.11</b> Skema Perancangan Sistem <i>Monitoring Online</i> .....	32
<b>Gambar 3.12</b> <i>Dashboard Monitoring Online</i> .....	34
<b>Gambar 3.13</b> <i>Wiring Diagram</i> Sistem Filtrasi .....	34
<b>Gambar 3.14</b> Desain 3D Sistem Filtrasi .....	35
<b>Gambar 3.15</b> Hasil Pembuatan Alat Sistem Filtrasi.....	36
<b>Gambar 3.16</b> Perangkat Lunak <i>Theremino Spectrometer</i> .....	37
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Perbandingan Sensor TCS34725 dan Validator.....	44
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Pengukuran Kadar Fe Oleh Sensor .....	46
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Pengukuran Kadar Mn Oleh Sensor.....	47
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Hasil Pengujian Panjang Gelombang 510nm.....	49
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Hasil Pengujian Panjang Gelombang 525nm.....	50

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> <i>State of The Art</i> .....	5
<b>Tabel 2.2</b> Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi (Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2017).....	11
<b>Tabel 2. 3</b> Panjang Gelombang Warna.....	12
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Komponen .....	24
<b>Tabel 3.2</b> Komposisi 1 dan Massa Media Filter.....	39
<b>Tabel 3.3</b> Komposisi 2 dan Massa Media Filter.....	39
<b>Tabel 3.4</b> Komposisi 3 dan Massa Media Filter.....	40
<b>Tabel 4.1</b> Data Pembacaan Intensitas Cahaya oleh Sensor TCS34725 dan Validator.....	43
<b>Tabel 4.2</b> Pengukuran Kadar Fe menggunakan Sensor.....	45
<b>Tabel 4.3</b> Pengukuran Kadar Mn menggunakan Sensor .....	46
<b>Tabel 4.4</b> Pengujian LED Panjang Gelombang 510nm .....	48
<b>Tabel 4.5</b> Pengujian LED Panjang Gelombang 525nm .....	49
<b>Tabel 4.6</b> Pengukuran Transmittansi dan Absorbansi Fe.....	51
<b>Tabel 4.7</b> Pengukuran Transmittansi dan Absorbansi Mn .....	52
<b>Tabel 4.8</b> Efektivitas Penurunan Kadar Fe dan Mn pada Berbagai Rasio Bahan Filtrasi.	53
<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan Kadar Fe Hasil Uji Laboratorium dan Pembacaan Alat Ukur terhadap Air Hasil Filtrasi.....	55
<b>Tabel 4.10</b> Perbandingan Kadar Mn Hasil Uji Laboratorium dan Pembacaan Alat Ukur terhadap Air Hasil Filtrasi.....	55
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Pengukuran Kadar Menggunakan Alat Ukur .....	56

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Air sumur sering menjadi sumber air bersih utama yang digunakan masyarakat dalam jumlah besar. Namun, masalah yang sering muncul dari air sumur adalah tingginya kandungan Fe dan Mn. Kedua zat ini mudah larut dalam air dan sulit dideteksi dengan mata telanjang (Al Kholif et al., 2020). Kontaminasi Fe dan mangan Mn dalam air tanah terjadi secara alami atau disebabkan oleh sumber antropogenik seperti limbah industri dan kebocoran tempat pembuangan akhir (Marsidi et al., 2018). Penggunaan air yang mengandung Fe dan Mn tersebut menyebabkan kulit menjadi kering apabila digunakan untuk mandi, sedangkan mencuci pakaian dan peralatan berwarna putih dengan air tersebut mengakibatkan perubahan warna menjadi kuning kecoklatan. Selain itu, air tersebut juga menimbulkan endapan di bak penampung (Febrina & Ayuna, 2019). Kadar Fe yang tinggi dapat menimbulkan masalah gastrointestinal seperti mual, muntah, dan sakit perut, serta dapat mengendap di organ tubuh dan menyebabkan hemosiderosis yang merusak organ vital seperti hati dan pankreas. Sementara itu, paparan Mn yang berlebihan, terutama pada anak-anak, dapat menyebabkan neurotoksisitas serius, termasuk penurunan IQ, masalah perilaku, dan gejala mirip penyakit Parkinson pada orang dewasa (Ghosh et al., 2020) (Mehta, 2023).

Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk menganalisis kadar Fe dan Mn adalah dengan menggunakan spektrofotometer. Spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur transmitan atau absorbans sampel, di mana tiap media menyerap cahaya berdasarkan panjang gelombang tertentu tergantung pada senyawa atau warna yang terbentuk. Nilai absorbansi cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi larutan dalam kuvet (Arifah, 2018). Spektrofotometer saat ini harganya mahal, sehingga tidak realistis bagi rumah tangga untuk membelinya hanya untuk mengukur kadar Fe dan Mn. Oleh karena itu, diperlukan spektrofotometer yang lebih terjangkau.

Pada penelitian sebelumnya menghasilkan alat pengukuran kualitas air untuk keperluan higiene sanitasi. Parameter yang diukur pada penelitian ini yaitu kekeruhan, kadar keasaman (pH), suhu dan jumlah zat padat dalam air. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler jenis Arduino. Penelitian ini fokus ke pengukuran parameter fisis air (Zarkashie, 2021). Penelitian berikutnya menjelaskan tentang pengembangan fotometer berbasis diode pemancar-penerima pasangan (*Paired Emitter-Detector Diode atau PEDD*) untuk mendeteksi pemalsuan natrium hipoklorit dalam susu. Fotometer ini terdiri dari diode pemancar cahaya putih (LED) sebagai diode pemancar, LED RGB sebagai diode pendeteksi, dan multimeter untuk merekam sinyal. Pada penelitian ini, prototipe alat yang didesain masih belum berbentuk sebuah alat portabel (Bastan et al., 2023). Penelitian berikutnya menjelaskan tentang spektrofotometer portabel, murah, dan *open-source* yang dapat digunakan untuk pengukuran. Metode penelitian menggunakan empat komponen utama: LED, spektrometer Hamamatsu C12880MA, mikrokontroler Arduino Nano, dan modul Bluetooth untuk transfer data ke aplikasi *mobile*. Spektrofotometer ini mengukur absorpsi dalam rentang 450-750 nm dengan resolusi 15 nm. Pada penelitian ini desain alat sudah portabel, namun menggunakan komponen sensor yang terbilang mahal untuk skala rumah tangga (Bastan et al., 2023). Penelitian berikutnya menjelaskan tentang spektrometer untuk pengukuran konsentrasi logam berat, yaitu tembaga dan besi,

dalam sampel air dengan menggunakan kit kimia impor. Alat ini bekerja berdasarkan prinsip spektroskopi tampak untuk mendeteksi perubahan warna yang disebabkan oleh kit kimia. Setelah melakukan eksperimen dengan berbagai konsentrasi logam berat, spektrum tampak dari 400 hingga 700 nm dikumpulkan dan digunakan untuk membuat model kalibrasi. Pada penelitian ini menggunakan sensor AS7262 yang masih terbilang cukup mahal (Srivastava & Sharma, 2021). Penelitian berikutnya adalah merancang purwarupa alat spektroskopi Raman portabel dengan biaya rendah yang cocok untuk mendeteksi cairan. Penelitian ini mengevaluasi kemampuan deteksi purwarupa tersebut terhadap sampel cairan transparan dan berwarna. Metode yang digunakan adalah spektroskopi Raman dengan penerapan jaringan neural (*Neural Network*) serta menggunakan *sensor complementary metal oxide semiconductor* (CMOS). Penelitian ini menggunakan konsep spektroskopi untuk mendeteksi cairan berwarna dan transparan saja (Kusumo et al., 2020). Pada penelitian selanjutnya mengembangkan alat ukur portabel untuk mengukur kadar logam berat dalam air menggunakan prinsip spektrofotometer sedang dilakukan. Penelitian ini berfokus pada dua jenis logam berat, yaitu Mangan dan Besi. Kadar Mangan diukur menggunakan cahaya dengan panjang gelombang  $521 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ , sedangkan untuk pengukuran kadar Besi digunakan cahaya dengan panjang gelombang  $500 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ . Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kadar Fe dan Mn secara terpisah (Nadhira et al., 2017).

Berdasarkan paparan penelitian sebelumnya, maka pada proyek akhir ini akan dibuat sebuah *portable monitoring system* kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan metode spektrofotometri guna filtrasi air sumur. Proyek akhir ini akan fokus pada pengukuran parameter kimia air yaitu Fe dan Mn. Alat ukur ini akan menggunakan sumber cahaya yaitu dua buah LED dengan panjang gelombang 510nm untuk Fe dan panjang gelombang 525nm untuk Mn, sensor yang digunakan yaitu TCS34725 yang merupakan sensor warna digital dengan konverter analog-ke-digital (ADC) internal, sehingga sinyal optik yang ditangkap diubah langsung menjadi data digital. Data tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi I2C untuk diproses lebih lanjut. Pengukuran kadar Fe dan Mn tersebut akan dapat dipantau melalui *website*. Pada proyek akhir ini juga akan membuat sebuah alat filtrasi air sumur dengan penggunaan rasio bahan sedimen yang akan ditemukan untuk memfiltrasi kadar Fe dan Mn yang melebihi standar menjadi sebuah air yang layak digunakan untuk kebutuhan higiene dan sanitasi. Diharapkan alat ini akan dimanfaatkan dengan baik untuk mengukur kadar Fe dan Mn air sumur pada skala rumah tangga.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana hasil perancangan sistem monitoring portabel kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan metode spektrofotometri guna filtrasi air sumur?
- b. Bagaimana karakteristik statik akurasi, presisi, dan linieritas sistem monitoring portabel kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan metode spektrofotometri guna filtrasi air sumur?
- c. Bagaimana pengaruh rasio kombinasi media sedimen terhadap proses filtrasi kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air sumur?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Variabel pengukuran yang digunakan yaitu konsentrasi Fe dan Mn.
- b. Sampel yang digunakan untuk pengujian alat ukur menggunakan air murni (aquades) yang ditambahkan Fe dan Mn secara terpisah dengan kadar 0; 0,5; 0,8; 1,1; 1,4; 1,7; 2,0; 2,3; 2,7; 3,0 mg/L.
- c. Tiap sampel akan ditambahkan reagen, untuk Fe menggunakan reagen fenantrolin, sedangkan untuk mangan menggunakan reagen persulfat.
- d. Sumber cahaya yang digunakan untuk pembuatan alat ukur dengan metode spektrofotometer yaitu bertipe monokromatis (hanya memiliki 1 tingkatan panjang gelombang) dengan panjang gelombang yang digunakan yaitu 510nm untuk Fe dan 525nm untuk Mn.
- e. Kombinasi sistem filter yaitu klorinasi dan filtrasi dengan menggunakan sedimen pasir silika, pasir zeolit, dan karbon aktif dengan variasi rasio 40:40:20, 60:30:10, dan 50:30:20.

### 1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Merancang alat *portable monitoring system* kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan metode spektrofotometri guna filtrasi air sumur.
- b. Mengetahui karakteristik statik akurasi, presisi, dan linieritas alat *portable monitoring system* kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan metode spektrofotometri guna filtrasi air sumur
- c. Mengetahui pengaruh rasio kombinasi media sedimen untuk filtrasi kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) air sumur yang efektif.

### 1.5 Manfaat

Penelitian yang diusulkan ini diharapkan memberi manfaat sebagai berikut:

- a. Mengembangkan sebuah *low-cost* spektrofotometer untuk monitoring kualitas air sumur dengan parameter zat besi (Fe) dan mangan (Mn)
- b. Meningkatkan kualitas air sumur yang digunakan masyarakat untuk Keperluan Higiene Sanitasi.
- c. Membantu masyarakat dalam memilih air sumur yang layak digunakan untuk Keperluan Higiene Sanitasi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Berikut adalah hasil penelitian dan perancangan sebelumnya yang berkaitan dengan tema yang diusulkan dan dijadikan referensi dalam pembuatan Proyek Akhir ini.

**Tabel 2. 1** *State of The Art*

Judul, penulis & tahun	Metode	Hasil
Portable Protein and Fat Detector in Milk Based on Multi-Spectral Sensor and Machine Learning (Wang et al., 2023).	Penelitian ini mengembangkan alat portabel untuk mendeteksi kadar protein dan lemak dalam susu menggunakan sensor multispektral AS7265x dan prosesor Raspberry Pi 4. Sampel susu dikumpulkan dan diuji terlebih dahulu dengan alat laboratorium standar sebagai acuan, kemudian dianalisis menggunakan sensor spektral untuk memperoleh data pantulan pada 18 panjang gelombang (410–940 nm). Data spektral yang diperoleh diproses melalui normalisasi dan reduksi dimensi, kemudian dimasukkan ke dalam model machine learning. Beberapa algoritma regresi diuji, yaitu XGBoost, Random Forest, SVR, AdaBoost, dan Gradient Boosted Regression, dengan evaluasi dilakukan menggunakan RMSE dan MAE berdasarkan pembagian data latih dan uji sebesar 80:20.	Hasil menunjukkan bahwa algoritma XGBoost memberikan performa terbaik, dengan nilai RMSE sebesar 0,086 dan MAE sebesar 0,067 untuk prediksi protein, serta RMSE sebesar 0,076 dan MAE sebesar 0,059 untuk prediksi lemak. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan analisis kandungan susu secara cepat, non-destruktif, dan portabel, menjadikannya cocok untuk digunakan di lapangan oleh peternak atau industri kecil. Dengan biaya rendah, kemudahan replikasi, serta hasil yang akurat, alat ini memiliki potensi besar untuk mendukung pengawasan mutu susu tanpa perlu peralatan laboratorium yang kompleks.
Low-cost visible spectrophotometer for	Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah	Hasil menunjukkan bahwa spektrofotometer <i>low-cost</i> yang dikembangkan

Judul, penulis & tahun	Metode	Hasil
detecting absorption and emission in metallic blends of colorful samples solution (Workneh et al., 2024)	spektrofotometer cahaya tampak (visible light) yang murah dan mudah dibuat untuk menganalisis larutan logam berwarna. Alat ini menggunakan komponen sederhana dan mudah diakses, seperti sumber cahaya tungsten, kisi difraksi CD/DVD sebagai elemen dispersif, filter warna, lensa fokus, serta sensor optik berbasis modul TCS34725 untuk mendeteksi intensitas cahaya. Perangkat keras alat ini disusun dalam struktur tertutup dengan jalur cahaya sejajar yang melewati sampel dalam cuvette 1 cm. Sistem dikendalikan dan dibaca menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino, yang terhubung ke perangkat lunak antarmuka untuk akuisisi dan pemrosesan data. Pengukuran dilakukan terhadap larutan logam seperti $\text{CrCl}_3$ dan $\text{CuSO}_4$ dengan variasi konsentrasi tertentu. Panjang gelombang disesuaikan melalui pemilihan filter warna sesuai spektrum absorpsi larutan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat buatan ini terhadap spektrofotometer	mampu mengukur konsentrasi larutan logam berwarna dengan hasil yang cukup akurat dan konsisten. Korelasi antara intensitas cahaya yang terdeteksi dan konsentrasi larutan menunjukkan linearitas yang baik, dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) mencapai 0,998 untuk $\text{CrCl}_3$ dan 0,992 untuk $\text{CuSO}_4$ . Persentase deviasi rata-rata dibandingkan alat komersial berada di bawah 8%, yang menunjukkan bahwa alat ini layak digunakan sebagai alternatif sederhana untuk analisis kuantitatif. Selain itu, alat ini memiliki keunggulan dari segi biaya, portabilitas, dan kemudahan replikasi, sehingga sangat potensial untuk digunakan dalam pembelajaran laboratorium, pengujian lapangan, atau di daerah dengan keterbatasan akses alat laboratorium canggih.

Judul, penulis & tahun	Metode	Hasil
	laboratorium komersial (UV-Vis DR6000).	
Portable low-cost open-source wireless spectrophotometer for fast and reliable measurements (Laganovska et al., 2020)	Penelitian ini menjelaskan perancangan dan performa spektrofotometer portabel, murah, dan open-source untuk pengukuran cepat dan andal, dengan menggunakan perangkat keras berupa LED, spektrometer Hamamatsu C12880MA, mikrokontroler Arduino Nano, dan modul Bluetooth untuk transfer data ke aplikasi mobile, yang beroperasi dalam rentang panjang gelombang 450-750 nm dengan resolusi 15 nm, serta divalidasi melalui pengukuran akurasi panjang gelombang, rentang dinamis, rasio sinyal terhadap kebisingan, dan pengujian pada tiga aplikasi berbeda untuk menentukan batas kuantifikasi, batas deteksi, dan deviasi standar relatif.	Hasil dari penelitian pada paper tersebut menunjukkan bahwa spektrofotometer portabel yang dikembangkan memiliki kinerja yang sangat baik, sebanding dengan spektrofotometer komersial yang lebih mahal. Pengukuran konsentrasi vitamin B12 menunjukkan ketergantungan linear antara konsentrasi dan nilai absorbansi dengan nilai R <sup>2</sup> yang serupa antara spektrofotometer portabel dan spektrofotometer bench-top komersial. Pengujian inter-day dan intra-day precision menunjukkan deviasi standar relatif maksimum masing-masing 6.60% dan 3.78% untuk spektrofotometer portabel, yang mendekati nilai dari spektrofotometer komersial. Selain itu, nilai batas deteksi (LOD) dan batas kuantifikasi (LOQ) yang diperoleh juga sangat mirip dengan spektrofotometer komersial, menunjukkan bahwa perangkat ini dapat memberikan hasil yang akurat dan andal
Ultra-portable, smartphone-based	Penelitian ini menggunakan metode	Hasil penelitian menunjukkan bahwa

Judul, penulis & tahun	Metode	Hasil
spectrometer for heavy metal concentration measurement in drinking water samples (Srivastava & Sharma, 2021)	spektroskopi untuk mendeteksi logam berat dalam air. Prosesnya melibatkan pengumpulan data spektrum dari sampel buffer standar yang diproses menggunakan kit kimia untuk menghasilkan spektrum tampak 400-700 nm, yang digunakan untuk model kalibrasi. Modul sensor spektroskopi menggunakan LED dan sensor spektral AS7262 dari Adafruit Industries, merekam radiasi tampak dalam mode transmisi. Sistem tertanam terdiri dari submodul untuk akuisisi data, penyimpanan, pemrosesan, dan prediksi konsentrasi logam berat, dikendalikan oleh mikrokontroler 8-bit yang terhubung dengan aplikasi Android melalui Bluetooth. Aplikasi Android ini memvisualisasikan prediksi kontaminasi tembaga dan besi serta menyimpan data dalam format .csv dengan informasi lokasi dan waktu. Komponen utama penelitian mencakup dioda LED dengan arus maksimum 120 mA, sensor spektral AS7262, mikrokontroler 8-bit, dan baterai Li-ion 3.7 V, 1000	spektrometer portabel yang dikembangkan mampu mendeteksi kontaminasi logam berat (tembaga dan besi) dalam sampel air dengan akurasi tinggi. Sistem ini memungkinkan analisis kualitas air secara real-time di lokasi dengan kemampuan pencatatan data otomatis ke cloud pihak ketiga tanpa manipulasi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spektrometer memiliki akurasi yang baik dalam memprediksi konsentrasi tembaga dan besi pada sampel yang telah diketahui konsentrasinya. Sistem ini juga dinyatakan hemat biaya, mudah digunakan, dan dilengkapi dengan fitur-fitur canggih, sehingga dapat bermanfaat untuk manajemen database kualitas air di berbagai tingkat desa

Judul, penulis & tahun	Metode	Hasil
	mAh dengan modul manajemen daya.	
A Portable Measurement Device Based on Phenanthroline Complex for Iron Determination in Water (Fernandes et al., 2023)	Mengembangkan alat portabel (IMS) berbasis photodiode TCS34725 dan LED untuk mengukur konsentrasi Fe <sup>2+</sup> dalam air tawar. Dipadukan dengan reagen fenantrolin padat yang mudah digunakan untuk membentuk kompleks berwarna. Alat ini memungkinkan pengukuran absorbansi antara 470–600 nm, dikontrol oleh mikrokontroler modular, serta memungkinkan perbandingan langsung dengan spektrofotometer bench-top (Nicolet Evolution 300)	Hasil menunjukkan korelasi tinggi antara IMS dan alat referensi (koefisien Pearson ≈ 0,99), meskipun terdapat sedikit overestimasi absorbansi (maksimal ~13,8 %). Limit deteksi (LOD) untuk Fe <sup>2+</sup> adalah ≈ 8,07 µg/L dan limit kuantifikasi (LOQ) ≈ 24,45 µg/L. Analisis recovery pada sampel air alami menunjukkan nilai yang memuaskan sesuai standar. IMS terbukti akurat, presisi tinggi, dan mudah digunakan dalam kondisi lapangan
Study on the Removal of Iron and Manganese from Groundwater Using Modified Manganese Sand Based on Response Surface Methodology (Kang et al., 2022)	Penelitian ini bertujuan mengembangkan metode penghilangan zat besi (Fe) dan mangan (Mn) dari air tanah menggunakan media filtrasi berupa pasir mangan termodifikasi (Modified Manganese Sand). Proses penghilangan dilakukan melalui oksidasi kimia menggunakan larutan natrium hipoklorit (NaClO) dan kemudian difiltrasi menggunakan kolom yang berisi media tersebut. Eksperimen dilakukan dalam skala laboratorium dengan mengatur tiga parameter	Hasil penelitian menunjukkan bahwa media pasir mangan termodifikasi sangat efektif dalam menghilangkan zat besi dan mangan dari air tanah, terutama ketika kondisi operasional dioptimalkan. Penghilangan maksimum untuk Fe dan Mn terjadi pada pH sekitar 7, dosis NaClO sebesar 3 mg/L, dan waktu kontak selama 30 menit, dengan efisiensi penghilangan masing-masing sebesar 99,36% untuk Fe dan 98,88% untuk Mn. Model RSM menunjukkan kesesuaian yang tinggi antara hasil

Judul, penulis & tahun	Metode	Hasil
	utama, yaitu pH larutan, dosis oksidan, dan waktu kontak, yang kemudian dioptimalkan menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM) dengan desain Box-Behnken. Analisis dilakukan dengan membandingkan efektivitas penghilangan Fe dan Mn terhadap perubahan ketiga parameter tersebut.	prediksi dan data eksperimen dengan nilai R <sup>2</sup> sebesar 0,9837 untuk Fe dan 0,9703 untuk Mn. Dengan demikian, sistem ini terbukti tidak hanya efektif, tetapi juga ekonomis dan dapat diterapkan untuk pengolahan air minum skala domestik atau pedesaan.
Application of Parallel Multi Media Filter To Reduce Iron (Fe) And Manganese (Mn) Content (Haryanti et al., 2022)	Penelitian eksperimental ini memanfaatkan filter multimedia paralel, di mana beberapa media seperti pasir, zeolit, dan karbon aktif disusun secara paralel untuk filtrasi air sumur yang mengandung kadar Fe hingga ~3 mg/L dan Mn hingga ~2 mg/L. Desainnya menggunakan pendekatan Pre-Test/Post-Test Group untuk mengevaluasi efektivitas tiap media terhadap penurunan kadar logam. Sampel air diuji sebelum dan sesudah filtrasi, lalu dianalisis secara deskriptif untuk menentukan efisiensi masing-masing media.	Filter multimedia paralel terbukti mampu menurunkan kadar besi sebesar 94,44 % dan mangan sebesar 84,28 % pada sampel air yang diuji. Ini menunjukkan bahwa kombinasi media filter yang disusun paralel secara efektif menurunkan logam terlarut. Filter tersebut dinilai efektif secara praktis dan cocok diterapkan dalam sistem penyediaan air minum komunitas domestik di daerah pedesaan atau perkotaan yang mengandalkan sumur sebagai sumber air.

## 2.2 Dasar Teori

Berikut merupakan beberapa teori yang digunakan untuk Rancang Bangun Sistem *Monitoring Portable* Untuk Kadar Fe Dan Mn Pada Air Sumur Menggunakan Metode Spektrofotometri Serta Sistem Filtrasi Untuk Kebutuhan Higiene Dan Sanitasi.

### 2.1.1 Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi

Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan adalah spesifikasi teknis yang ditetapkan untuk media lingkungan yang berdampak pada kesehatan masyarakat. Air untuk Higiene Sanitasi adalah jenis air yang berbeda dari air minum dan harus memenuhi standar tersebut. Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014, kualitas lingkungan yang sehat tergantung pada pencapaian Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan. Isu lingkungan seperti perubahan iklim, termasuk pola curah hujan yang berubah, menyebabkan ketersediaan air bersih untuk higiene sanitasi berkurang. Standar untuk Air Higiene Sanitasi mencakup parameter fisik, biologi, dan kimia yang harus diperiksa secara berkala sesuai peraturan. Air ini digunakan untuk kebersihan diri, mencuci makanan, peralatan, pakaian, dan dapat juga digunakan sebagai air minum (Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2017)

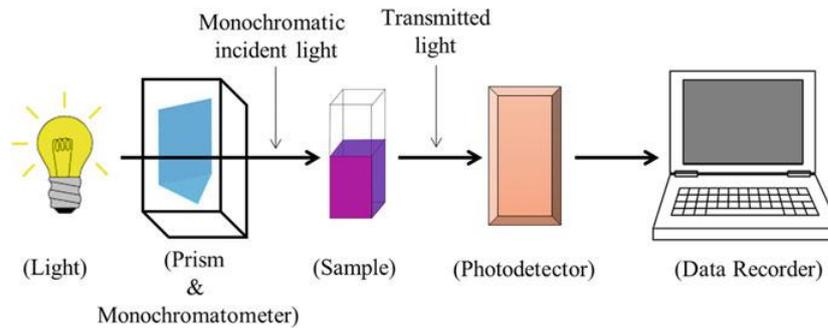
Adapun untuk standar baku mutu air untuk keperluan Higiene Sanitasi dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini. Pada Tabel 2.2 hanya akan dilampirkan parameter kimia air untuk keperluan Higiene Sanitasi yang digunakan sebagai parameter dalam proyek akhir ini.

**Tabel 2.2** Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi (Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2017)

No.	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
1	Besi	mg/l	1
2	Mangan	mg/l	0,5

### 2.2.1 Konsep Dasar Spektrofotometri

Spektrofotometri adalah metode analisis yang mengukur penyerapan cahaya monokromatik oleh larutan berwarna pada panjang gelombang tertentu, menggunakan monokromator prisma dan detektor fototube. Secara sederhana, spektrofotometri mengukur penyerapan energi cahaya oleh sistem kimia sesuai panjang gelombang dan radiasi. Metode ini biasanya digunakan dalam percobaan untuk menentukan kadar  $Fe^{3+}$  dalam sampel. Alat yang digunakan adalah spektrofotometer UV/Vis, yang mengukur transmitansi atau absorbansi sampel sebagai fungsi panjang gelombang (UV: 185–400 nm; Vis: 400–760 nm). Spektrofotometri dapat dianggap sebagai perluasan pemeriksaan visual dengan studi mendalam mengenai penyerapan energi. Penyerapan radiasi oleh sampel diukur pada berbagai panjang gelombang dan direkam untuk menghasilkan spektrum khas yang berbeda untuk setiap komponen (Yudono, 2017)



**Gambar 2.1** Skema Umum Spektrofotometri

Sumber: (Dash et al., 2020)

### 2.2.2 Interaksi Cahaya dengan Fe dan Mn

Cahaya merupakan energi dan radiasi elektromagnetik. Sebagian kecil dari radiasi elektromagnetik adalah cahaya tampak yang dapat dilihat oleh mata. Cahaya dapat dianggap sebagai rangsangan yang diterima oleh mata sebagai salah satu panca indera (National Aeronautics and Space Administration, 2010). Dalam hal ini, manusia memiliki keterbatasan, yakni hanya bisa mengidentifikasi cahaya dengan panjang gelombang 380-780 nm, yang dikenal sebagai cahaya tampak (Cowan, 2023).

Pada Tabel 2.3 di bawah ini merupakan rentang panjang gelombang pada cahaya. Setiap warna memiliki rentang panjang gelombangnya masing-masing. Sementara itu warna komplementer adalah dua warna yang apabila dicampurkan dalam suatu proporsi yang tepat akan menghasilkan cahaya putih.

**Tabel 2. 3** Panjang Gelombang Warna

<i>Wavelength (nm)</i>	<i>Color</i>	<i>Complementary Color</i>
< 380	UV	
380-435	Violet	Hijau kekuningan
435-480	Biru	Kuning
480-490	Biru Kehijauan	Jingga
490-500	Hijau Kebiruan	Merah
500-560	Hijau	Ungu Kemerahan
560-580	Hijau Kekuningan	Violet
580-595	Kuning	Biru
595-650	Jingga	Biru Kehijauan
650-780	Merah	Hijau Kebiruan
> 780	Infra Merah	

Interaksi antara cahaya dengan Fe dan Mn dalam spektrofotometri didasarkan pada prinsip bahwa ketika cahaya melewati suatu sampel, sebagian cahaya akan diserap oleh ion logam dan sebagian lainnya akan diteruskan atau dipantulkan. Spektrofotometri mengukur intensitas cahaya yang diserap pada panjang gelombang tertentu untuk menentukan konsentrasi zat dalam sampel. Ini didasarkan pada hukum Lambert-Beer,

yang menyatakan bahwa absorpsi cahaya sebanding dengan konsentrasi zat dan panjang jalur cahaya melalui sampel (Carpentieri et al., 2023).

Besi dapat berada dalam beberapa keadaan oksidasi, terutama Fe(II) dan Fe(III), yang berinteraksi berbeda dengan cahaya, menghasilkan berbagai proses fotofisika dan fotokimia. Misalnya, senyawa besi dapat memancarkan cahaya setelah eksitasi, yang bermanfaat dalam aplikasi pencitraan dan sensor (Gaffney, 2021). Nanopartikel besi juga dapat menyerap dan menghamburkan cahaya, menjadikannya berguna dalam perangkat optik dan pencitraan biomedis (Sangaiya & Jayaprakash, 2018). Selain itu, oksida besi dapat berfungsi sebagai fotokatalis yang menyerap cahaya untuk mendorong reaksi kimia, yang penting dalam aplikasi lingkungan dan energi.

Mangan sama seperti besi, bisa berada dalam berbagai bentuk yang mempengaruhi cara berinteraksinya dengan cahaya. Material yang mengandung Mn sering menunjukkan cahaya terang yang berguna dalam teknologi layar dan pencitraan medis. Selain itu, oksida mangan efektif sebagai katalis, terutama dalam pemisahan air dan penguraian polutan. Interaksi cahaya dengan senyawa Mn juga bisa mempengaruhi sifat magnetiknya, yang penting untuk penyimpanan data dan teknologi spintronik.

#### **2.2.2.1 Absorbansi Cahaya**

Absorbansi cahaya pada spektrofotometri merupakan proses pengukuran seberapa banyak cahaya yang diserap oleh suatu larutan saat cahaya tersebut melewati larutan tersebut. Teknik ini memanfaatkan prinsip hukum Lambert-Beer, yang menyatakan bahwa absorbansi larutan berbanding lurus dengan konsentrasi zat terlarut dan panjang jalur cahaya melalui larutan (Rodger, 2018). Ion Fe dan Mn memiliki pita serapan khas di wilayah UV-Vis, yang mempengaruhi transmitansi cahaya melalui larutan yang mengandung ion-ion ini. Penyerapan cahaya oleh ion Fe dan Mn terjadi karena transisi elektronik antar tingkat energi dalam atom-atom tersebut. Menurut hukum Lambert-Beer, absorbansi ( $A$ ) berbanding lurus dengan konsentrasi ( $c$ ) ion, koefisien absorpsi molar ( $\epsilon$ ), dan panjang lintasan optik ( $l$ ) (Xue & Li, 2022).

#### **2.2.2.2 Transmitansi Cahaya**

Secara umum transmitansi cahaya pada ion Fe dan Mn sangat dipengaruhi oleh keadaan oksidasi ion tersebut dan lingkungan kimia sekitarnya. Fe(II) dan Fe(III) memiliki spektrum absorpsi yang berbeda yang menyebabkan variasi warna larutan dan efek pada transmitansi cahaya. Begitu pula dengan Mn, di mana Mn(II) dan Mn(III) menunjukkan perbedaan signifikan dalam absorpsi cahaya, terutama di daerah UV hingga biru.

#### **2.2.3 Hukum Beer-Lambert**

Prinsip kerja spektrofotometer didasarkan pada hukum Beer-Lambert. Ketika cahaya monokromatik ( $I_0$ ) melewati suatu media seperti larutan, sebagian dari cahaya tersebut akan diserap ( $I_a$ ), sebagian lainnya dipantulkan ( $I_r$ ), dan sisanya ditransmisikan ( $I_t$ ). Transmitansi adalah rasio antara intensitas cahaya yang ditransmisikan setelah melewati sampel ( $I_t$ ) dan intensitas cahaya awal sebelum melewati sampel ( $I_0$ ) (Douglas A. Skoog, F. James Holler, 2018).

Menurut hukum Beer-Lambert, rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah cahaya yang tersebar adalah:

$$T = \frac{I_t}{I_0} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$T$  = Transmittansi, yaitu rasio antara intensitas cahaya yang diteruskan oleh sampel dengan intensitas cahaya awal yang masuk ke sampel. Transmittansi adalah besaran yang digunakan untuk mengukur seberapa banyak cahaya yang berhasil melewati sampel tanpa diserap atau dipantulkan.

$I_t$  = Intensitas cahaya yang ditransmisikan, yaitu jumlah cahaya yang berhasil melewati sampel dan terdeteksi oleh detektor setelah berinteraksi dengan sampel.

$I_0$  = Intensitas cahaya awal, yaitu jumlah cahaya monokromatik yang masuk ke dalam sampel sebelum mengalami interaksi seperti absorpsi atau pantulan.

Atau

$$\%T = \frac{I_t}{I_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\%T$  = Persentase Transmittansi menyatakan transmittansi dalam bentuk persentase, menunjukkan proporsi cahaya yang diteruskan melalui sampel dibandingkan dengan intensitas cahaya awal.

Absorbansi dinyatakan dengan rumus:

$$A = -\log T = -\log \frac{I_t}{I_0} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$A$  = Absorbansi adalah ukuran seberapa banyak cahaya yang diserap oleh sampel. Absorbansi adalah logaritma negatif dari transmittansi. Absorbansi akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi zat yang menyerap cahaya.

Hukum Beer-Lambert menyatakan bahwa jika  $I_t$  adalah intensitas cahaya yang datang dan  $I_0$  adalah intensitas cahaya setelah melewati sampel, maka rumus yang digunakan untuk menggambarkan hubungan ini adalah sebagai berikut:

$$A = a \cdot b \cdot c \text{ atau } A = \epsilon \cdot b \cdot c \quad (2.4)$$

Keterangan:

$A$  = absorbansi

$a$  = tetapan absorbtivitas (jika konsentrasi larutan yang diukur dalam ppm)

$c$  = konsentrasi larutan yang diukur

$\epsilon$  = Tetapan absorbtivitas molar (jika konsentrasi larutan yang diukur dalam ppm)

$B$  = Tebal larutan (tebal kuvet diperhitungkan juga)

Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk berlaku Hukum Beer-Lambert adalah sebagai berikut:

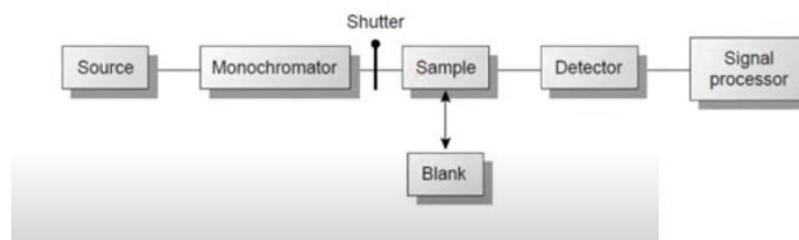
1. Radiasi yang digunakan harus monokromatik.
2. Energi radiasi yang diserap oleh sampel tidak boleh menyebabkan reaksi kimia.
3. Sampel (larutan) yang menyerap cahaya harus homogen, tidak boleh terjadi fluoresensi atau fosforesensi, dan indeks refraksi tidak boleh mempengaruhi konsentrasi; dengan kata lain, larutan harus tidak pekat (harus encer).

## 2.2.4 Reagen dan Panjang Gelombang Fe dan Mn

Hukum Beer banyak diterapkan dalam analisis kuantitatif di berbagai bidang kimia, termasuk kimia lingkungan, klinis, industri, dan forensik. Ion Fe bereaksi dengan o-fenantrolin dalam larutan asam, membentuk kompleks berwarna oranye merah yang dapat dianalisis pada panjang gelombang 510 nm. Sementara itu, ion Mn dapat dianalisis dengan mengoksidasi menjadi  $\text{MnO}_4^-$  menggunakan persulfat, di mana panjang gelombang yang digunakan adalah 525 nm (Yudono, 2017).

## 2.2.5 Instrumentasi Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis (*Ultraviolet-Visible*) adalah alat yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu spektrometer dan fotometer. Spektrometer berfungsi menghasilkan spektra pada panjang gelombang tertentu, sementara fotometer mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi oleh suatu sampel. Alat ini digunakan untuk mengukur energi secara relatif, baik saat energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan, atau diemisikan berdasarkan panjang gelombang (Toledo, 2015). Secara umum, spektrofotometer terdiri dari empat bagian utama: sumber cahaya, monokromator, kuvet, dan detektor.



Gambar 2.2 Skema Spektrofotometer UV-Vis

### 2.2.5.1 Sumber Cahaya

Dalam spektrofotometri serapan, sumber radiasi memiliki dua fungsi utama. Pertama, menyediakan energi pada panjang gelombang yang tepat untuk keperluan pengukuran. Kedua, menjaga agar intensitas cahaya tetap stabil selama pengukuran berlangsung. Spektrofotometer sinar tampak (visible) menggunakan lampu wolfram sebagai sumber cahaya yang mampu menghasilkan panjang gelombang di atas 375 nm. Sementara itu, untuk spektrofotometer sinar UV, digunakan lampu deuterium, yang menghasilkan panjang gelombang di bawah 375 nm. Energi yang dipancarkan oleh sumber cahaya ini bervariasi tergantung pada panjang gelombangnya.

### 2.2.5.2 Monokromator

Monokromator adalah perangkat yang berfungsi memecah cahaya polikromatis menjadi beberapa komponen panjang gelombang tertentu (monokromatis) yang berbeda (terdispersi).

### 2.2.5.3 Kuvet

Kuvet spektrofotometer adalah alat yang digunakan sebagai wadah untuk sampel yang akan dianalisis. Kuvet biasanya dibuat dari bahan kuarsa, plexiglass, kaca, atau plastik dengan bentuk tabung persegi panjang berukuran 1 x 1 cm dan tinggi 5 cm. Dalam pengukuran di wilayah UV, digunakan kuvet dari kuarsa atau plexiglass, sementara kuvet kaca tidak bisa digunakan karena kaca menyerap sinar UV. Semua jenis kuvet dapat digunakan untuk pengukuran di wilayah cahaya tampak.



**Gambar 2.3** Kuvet untuk Spektrofotometer

### 2.2.5.4 Detektor

Detektor penerima berfungsi untuk memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang, mengubahnya menjadi sinyal listrik yang kemudian ditampilkan oleh penampil data dalam bentuk jarum penunjuk atau angka digital. Dengan mengukur transmitansi larutan sampel, konsentrasi dapat ditentukan menggunakan hukum Lambert-Beer.

Spektrofotometer mengukur intensitas cahaya yang melewati sampel ( $I$ ) dan membandingkannya dengan intensitas cahaya sebelum melewati sampel ( $I_0$ ). Rasio ini disebut transmitansi dan biasanya dinyatakan dalam persentase (%T), sehingga besar absorbansi ( $A$ ) dapat dihitung dengan rumus  $A = -\log \%T$ .

### 2.2.6 Sistem Filter Kadar Fe dan Mn dengan Metode Klorinasi-Filtrasi

Metode klorinasi-filtrasi digunakan untuk menghilangkan zat besi dan mangan dalam air dengan cara mengoksidasi ion besi ( $Fe^{2+}$ ) dan ion mangan ( $Mn^{2+}$ ) menjadi bentuk yang tidak larut melalui penambahan klorin, kemudian menghilangkan padatan yang terbentuk melalui filtrasi. Proses ini dimulai dengan penambahan klorin ( $Cl_2$ ) ke dalam air yang mengandung zat besi dan mangan. Klorin bereaksi dengan  $Fe^{2+}$  dan  $Mn^{2+}$ , mengoksidasi ion-ion tersebut menjadi  $Fe^{3+}$  dan  $Mn^{4+}$  yang kemudian membentuk senyawa besi ( $Fe(OH)_3$ ) dan mangan ( $MnO_2$ ) yang tidak larut dalam air. Selanjutnya, air yang mengandung endapan  $Fe(OH)_3$  dan  $MnO_2$  dialirkan melalui sistem filtrasi yang umumnya menggunakan media pasir silika untuk menghilangkan padatan yang terbentuk. Metode ini lebih disarankan untuk air baku dengan konsentrasi zat besi

kurang dari 2 mg/l dan mangan kurang dari 1 mg/l. Secara keseluruhan, metode klorinasi-filtrasi adalah salah satu metode yang direkomendasikan untuk menghilangkan zat besi dan mangan dari air, terutama dalam kondisi di mana konsentrasi zat besi dan mangan tidak terlalu tinggi dan memerlukan pengolahan yang efisien (Said, 2015).

### **2.2.7 Kombinasi Media untuk Filter Fe dan Mn**

Air sumur yang telah mengalami proses klorinasi kemudian dialirkan menuju media filter untuk menyaring padatan Fe dan Mn yang terbentuk karena proses klorinasi. Kombinasi media filtrasi seperti pasir silika, karbon aktif, dan zeolit sangat efektif dalam menghilangkan zat besi (Fe) dan mangan (Mn) dari air, terutama dalam aplikasi filtrasi air sumur (Said, 2015).

Pada Proyek Akhir ini digunakan tiga macam rasio komposisi filtrasi berdasarkan penelitian yang sudah ada. Rasio pertama menggunakan komposisi 45% pasir silika, 22% karbon aktif, dan 33% zeolit untuk mengurangi kadar Fe dan Mn dalam air sumur (Ramayani et al., 2022).

#### **2.2.7.1 Pasir Silika**

Pasir silika atau pasir kuarsa merupakan mineral yang kaya akan silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), dengan kadar sekitar 99,7%. Pasir ini memiliki butiran yang keras, kuat, dan padat, serta sangat tahan terhadap degradasi. Karena sifat-sifatnya yang unggul, pasir silika sering digunakan dalam sistem penyaringan air. Pasir silika dalam proses filtrasi besi (Fe) dan mangan (Mn) berfungsi sebagai salah satu media penyaring yang digunakan dalam sistem filtrasi bertekanan. Pasir silika bekerja dengan menangkap partikel-partikel halus, termasuk senyawa besi dan mangan yang telah teroksidasi menjadi bentuk yang tidak larut. Penggunaan pasir silika ini membantu meningkatkan efektivitas proses penyaringan dalam menghilangkan kandungan besi dan mangan dari air.

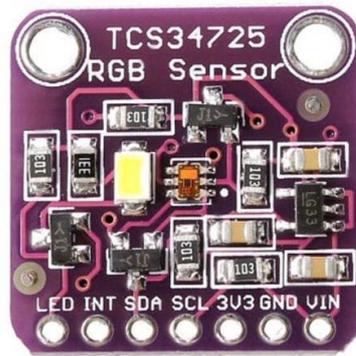
#### **2.2.7.2 Karbon Aktif**

Karbon aktif digunakan untuk menghilangkan bau, warna, dan polutan mikro yang mungkin masih tersisa setelah tahap penyaringan sebelumnya. Karbon aktif berfungsi untuk menyerap senyawa-senyawa organik atau zat-zat kimia yang dapat menyebabkan bau dan warna pada air, sehingga air yang dihasilkan menjadi lebih bersih dan layak untuk digunakan.

#### **2.2.7.3 Mangan Zeolit**

Mangan zeolit digunakan untuk menghilangkan sisa besi dan mangan yang belum teroksidasi di dalam tangki reaktor. Mangan zeolit memiliki kemampuan untuk mengoksidasi besi (Fe) dan mangan (Mn) yang masih larut dalam air menjadi bentuk yang tidak larut, sehingga zat-zat ini bisa dipisahkan melalui proses penyaringan.

## 2.2.8 Sensor TCS34725

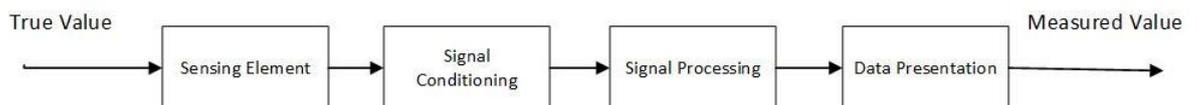


**Gambar 2.4** Sensor TCS34725

Sensor TCS34725 merupakan sensor warna digital yang memiliki elemen deteksi cahaya merah, hijau, dan biru (RGB). Sensor ini dilengkapi dengan filter inframerah (IR) yang terintegrasi pada chip dan ditempatkan secara langsung di atas fotodetektor warna. Keberadaan filter tersebut berfungsi untuk mengurangi pengaruh komponen spektrum IR dari cahaya lingkungan, sehingga mampu meningkatkan akurasi dalam pengukuran warna. Tingkat sensitivitas yang tinggi serta kemampuan penyaringan cahaya IR menjadikan sensor ini ideal untuk digunakan dalam berbagai kondisi pencahayaan. TCS34725 memiliki cakupan aplikasi yang luas, seperti dalam pengendalian warna LED RGB, sistem pencahayaan permukaan objek, otomasi proses industri, serta perangkat dalam bidang diagnostik medis. Selain itu, sensor ini juga mendukung fungsi Ambient Light Sensing (ALS) berkat kemampuannya menyaringnya terhadap cahaya inframerah (Utami et al., 2020).

## 2.2.9 Sistem Pengukuran

Pada gambar 2.5 merupakan sebuah alur sistem pengukuran yang dirancang untuk menyediakan informasi tentang nilai fisik beberapa variabel yang diukur.



**Gambar 2.5** Diagram Blok Pengukuran

Sensor adalah *sensing element* yang mengirimkan sinyal hasil pengukuran ke *signal conditioning*, yang kemudian diubah menjadi sinyal standar yaitu 1-5 VDC atau 4-20 mA. Sinyal ini kemudian dikirim ke kontroler (*signal processing*) untuk diproses sesuai dengan konversi yang diinginkan. Hasil pengukuran dari sensor akan ditampilkan pada layar LCD.

- 1) *True Value* adalah nilai sebenarnya dari suatu kuantitas yang idealnya sesuai dengan hasil pengukuran jika tidak ada kesalahan atau ketidakpastian. Namun, nilai ini tidak pernah benar-benar diketahui karena semua pengukuran mengandung ketidakpastian, sehingga pengukuran dinilai dari seberapa dekat hasilnya dengan nilai sebenarnya (Lee et al., 2022).
- 2) *Sensing Element* adalah komponen utama sensor yang mendeteksi perubahan besaran fisik, seperti suhu, tekanan, atau cahaya, dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat diproses (McGrath & Scanail, n.d.).

- 3) *Signal Conditioning* adalah proses penting dalam pengukuran sinyal, di mana sinyal dari sensor diproses agar dapat diterima dan dianalisis oleh sistem akuisisi data. Proses ini mencakup amplifikasi, penyaringan, isolasi, dan konversi sinyal untuk memastikan sinyal yang diterima akurat dan bebas gangguan, memungkinkan analisis data yang lebih efektif (Turner, 2016).
- 4) *Signal Processing* adalah teknik untuk menganalisis dan mengolah data sinyal. Teknik ini meningkatkan akurasi pengukuran, mengurangi kebutuhan interaksi dari pengguna, dan mengintegrasikan teknologi seperti *machine learning* untuk analisis data dan pengambilan keputusan (Iakovidis et al., 2022).
- 5) *Data Presentation* berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran kepada pengguna. *Data presentation* dilakukan melalui perangkat seperti layar atau indikator LED yang menampilkan data yang telah diproses dalam format yang mudah dipahami. Elemen ini krusial karena tanpa penyajian yang jelas, data tidak dapat dimanfaatkan secara optimal untuk analisis atau pengambilan keputusan (EngineeringTribe, n.d.).
- 6) *Measured Value* adalah nilai akhir yang diperoleh setelah data diproses melalui seluruh elemen sistem. Nilai ini digunakan untuk analisis lebih lanjut atau pengambilan keputusan berdasarkan hasil pengukuran (Buzanovskii, 2010).

### 2.2.10 Karakteristik Statik Pengukuran

Karakteristik statik adalah sifat dari sebuah instrumen yang tidak bergantung pada waktu. Sifat ini menunjukkan hubungan antara output dan input dari elemen tersebut ketika input berada pada nilai konstan atau berubah dengan lambat (He & Feng, 2022). Berikut merupakan karakteristik statik dari pengukuran dan persamaannya

#### 2.2.10.1 Koreksi

Koreksi mengacu pada perbedaan antara nilai yang diukur dan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur. Koreksi ini digunakan untuk mengurangi kesalahan sistematis dalam pengukuran. Misalnya, jika alat menunjukkan 101 unit padahal nilai sebenarnya adalah 100 unit, koreksi yang diperlukan adalah -1 unit.

$$\text{Koreksi} = \text{Bacaan sensor} - \text{bacaan alat ukur standar} \quad (2.5)$$

$$\text{Error}\% = \frac{|\text{Koreksi}|}{\text{Bacaan alat ukur standar}} \times 100\% \quad (2.6)$$

#### 2.2.10.2 Akurasi

Akurasi adalah tingkat kedekatan antara hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya dari besaran yang diukur. Akurasi biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase dari rentang penuh alat. Misalnya, jika akurasi suatu alat adalah  $\pm 1\%$  dari span 100 unit, maka alat tersebut memiliki akurasi  $\pm 1$  unit.

$$\text{Akurasi} = 100 - \text{error}\% \quad (2.7)$$

#### 2.2.10.3 Presisi

Presisi merujuk pada konsistensi hasil pengukuran ketika pengukuran yang sama diulang dalam kondisi yang sama. Presisi sering diukur melalui standar deviasi dari serangkaian pengukuran.

$$Presisi = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.8)$$

Dimana N adalah jumlah pengukuran,  $X_i$  adalah nilai pengukuran ke- $i$ , dan  $\bar{X}$  adalah rata-rata dari semua pengukuran.

#### 2.2.10.4 Linieritas

Linieritas mengukur seberapa baik hubungan antara input dan output alat mengikuti garis lurus ideal. Biasanya dinyatakan sebagai persentase dari rentang penuh.

#### 2.2.11 Konversi Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran spektrofotometer merupakan tegangan listrik yang dihasilkan oleh sensor fotodiode setelah sampel terkena cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Diperlukan proses kalibrasi dengan larutan standar yang konsentrasinya telah diketahui untuk mengubah tegangan menjadi satuan konsentrasi seperti mg/L (miligram per liter) atau PPM (*parts per million*). Tegangan yang diukur kemudian dikaitkan dengan konsentrasi ion logam dalam sampel yang telah diketahui melalui kurva kalibrasi berdasarkan pengukuran tegangan dari larutan standar dengan berbagai konsentrasi untuk menentukan hubungan linier antara tegangan keluaran dan konsentrasi. Setelah proses kalibrasi, nilai tegangan yang dihasilkan dari sampel dapat dihitung untuk menentukan konsentrasi ion Fe dan Mn dengan menggunakan persamaan regresi yang dihasilkan dari kurva kalibrasi. Persamaan linier yang diperoleh dari kurva standar ini kemudian digunakan untuk menghitung konsentrasi Fe dan Mn dalam sampel air yang diuji. Hubungan linier tersebut dinyatakan dalam bentuk:

$$y = mx + c \quad (2.9)$$

Keterangan:

$y$  = nilai tegangan listrik yang dihasilkan oleh sensor fotodiode setelah sampel terkena cahaya dengan panjang gelombang tertentu.

$m$  = kemiringan (*slope*) dari garis kalibrasi, yang mewakili perubahan tegangan yang diukur per unit konsentrasi ion logam dalam larutan standar. Nilai  $m$  menunjukkan seberapa besar tegangan akan berubah dengan perubahan konsentrasi.

$x$  = konsentrasi ion logam (Fe atau Mn) dalam sampel yang telah diketahui. Konsentrasi ini biasanya dinyatakan dalam satuan mg/L (miligram per liter).

$c$  = intersep ( $y$  - *intercept*) dari garis kalibrasi, yaitu nilai tegangan ketika konsentrasi ion logam ( $x$ ) adalah nol.

maka konsentrasi  $x$  dapat dihitung dengan menyusun ulang persamaan menjadi:

$$x = (y - c) / m \quad (2.10)$$

Apabila tegangan tertentu terukur, konsentrasi dalam mg/L bisa dihitung dengan memasukkan nilai tersebut ke dalam persamaan regresi yang telah ditetapkan. Konversi mg/L ke PPM menggunakan hubungan langsung karena dalam larutan air 1 mg/L setara dengan 1 PPM. (Melo et al., 2020).

### 2.2.12 Dashboard Monitoring Online

*Monitoring online* adalah proses mengawasi kondisi atau parameter secara real-time melalui internet. Dalam IoT (*Internet of Things*), ini memungkinkan pengumpulan data dari perangkat sensor terhubung, yang kemudian diolah dan ditampilkan dalam bentuk mudah dipahami, seperti dashboard. Pada Proyek Akhir ini akan menggunakan InfluxDB sebagai *database* dan Grafana untuk visualisasi data dari alat ukur.

#### 2.2.12.1 Database Google Spreadsheet

Google Spreadsheet merupakan *platform* spreadsheet berbasis *cloud* yang mendukung penyimpanan dan pengolahan data secara *real-time*. Google Spreadsheet dapat digunakan sebagai database untuk aplikasi ringan dengan performa yang cukup baik hingga 12.000–15.000 data, terutama saat diintegrasikan dengan Google Apps Script (Ekanayake et al., 2021).



Google Sheets

**Gambar 2.6** Google Sheets  
(Sumber: pintar.co)

#### 2.2.12.2 Visualisasi Data Grafana

Grafana adalah *platform open-source* untuk visualisasi data yang memungkinkan pengguna membuat dashboard yang interaktif dan informatif. Dengan mengintegrasikan InfluxDB sebagai sumber datanya, Grafana dapat menampilkan grafik, tabel, dan berbagai jenis visualisasi lainnya yang dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan pengguna. Dalam alat ini, Grafana memudahkan pemantauan kadar Fe dan Mn secara *real-time* dengan tampilan yang mudah dipahami (Chakraborty & Kundan, 2021).



**Gambar 2.7** Grafana  
(Sumber: skedler.com)

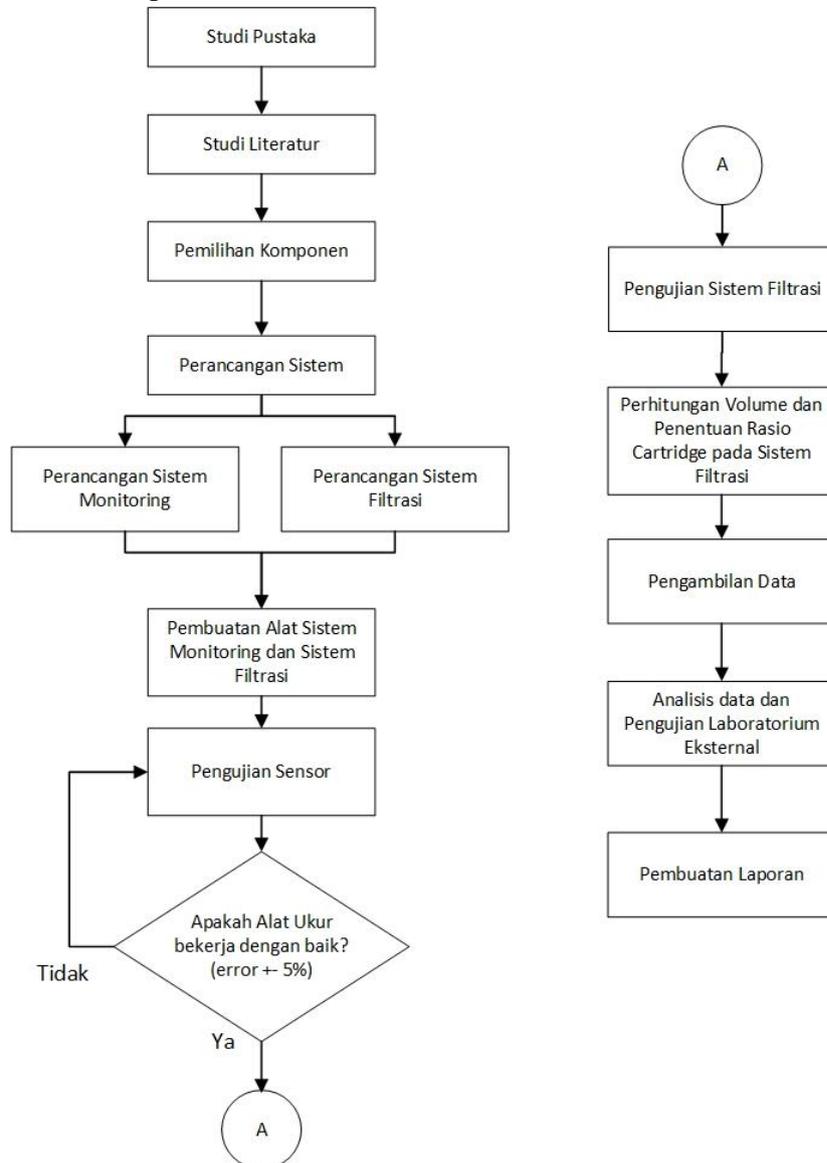
#### 2.2.12.3 Integrasi Alat Ukur dengan Google Sheets dan Grafana

Alat ukur kadar Fe dan Mn ini menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk mengirim data dari sensor ke Google Sheets melalui Appscript. Data ini kemudian divisualisasikan melalui Grafana, memungkinkan pemantauan kadar Fe dan Mn pada air secara *online* dan *real-time*. Dengan kombinasi Google Sheets dan Grafana,

pemantauan menjadi efisien dan memberikan informasi yang cepat serta akurat dan juga memungkinkan untuk menyimpan hasil pengukuran kadar Fe dan Mn(Cheddadi et al., 2020).

## BAB 3 METODOLOGI

Berikut adalah diagram alir pada Gambar 3.1 yang merupakan gambaran dari tahap-tahap pengerjaan Proyek Akhir yang akan dilakukan. Diagram alir ini dibuat agar metodologi yang dilakukan selama pengerjaan Proyek Akhir ini lebih terarah. Diagram alir ini dimulai dari studi pustaka hingga pembuatan laporan akhir.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.1 Studi Pustaka

Ketersediaan air bersih sangat penting bagi kehidupan manusia, terutama air sumur yang sering menjadi sumber air bersih utama yang digunakan oleh masyarakat dalam jumlah besar. Namun, masalah yang sering muncul dari air sumur adalah tingginya kandungan Fe dan Mn yang dapat menyebabkan masalah kesehatan dan menurunkan kualitas air. Fe dapat membuat air berwarna cokelat kemerahan dan berbau logam, sementara mangan bisa membuat air berwarna hitam dan meninggalkan endapan. Paparan jangka panjang terhadap logam ini dalam konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan

gangguan kesehatan seperti gangguan pencernaan dan penyakit kulit. Spektrofotometri adalah metode analisis yang efektif untuk mengukur konsentrasi Fe dan Mn dalam air dengan akurat dan sensitif. Proyek Akhir ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring portable dengan menggunakan metode spektrofotometri untuk mengukur kadar Fe dan Mn, serta dilengkapi dengan alat filtrasi untuk mengurangi kadar logam tersebut sehingga air menjadi lebih aman digunakan. Sistem portable ini menawarkan kemudahan penggunaan tanpa memerlukan peralatan laboratorium yang kompleks dan mahal.

### 3.2 Studi Literatur

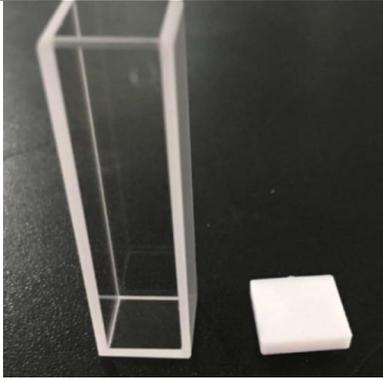
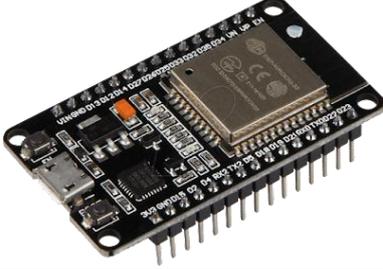
Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017, batas maksimum kandungan Fe dalam air untuk keperluan higiene sanitasi adalah 1 mg/L, dan untuk Mn adalah 0,5 mg/L. Kadar Fe dan Mn yang melebihi batas ini dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan seperti gangguan pencernaan, kerusakan organ, dan masalah kulit, serta menyebabkan penyumbatan pipa dan kerusakan peralatan rumah tangga akibat pengendapan logam. Spektrofotometri adalah metode analisis yang sangat sensitif dan akurat untuk mengukur kadar Fe dan Mn dalam air sumur, bekerja berdasarkan prinsip absorpsi cahaya oleh molekul pada panjang gelombang tertentu. Selain spektrofotometri, berbagai metode filtrasi seperti pasir, zeolit, dan karbon aktif juga efektif untuk mengurangi kadar Fe dan Mn dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Sistem monitoring portabel dengan spektrofotometri diperlukan guna meningkatkan kualitas air sumur, serta mempermudah pengukuran dan pengawasan kualitas air di berbagai lokasi.

### 3.3 Pemilihan Komponen

Terdapat beberapa komponen yang diperlukan dalam pembuatan *portable monitoring system* kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan metode spektrofotometri guna filtrasi air sumur. Pada Tabel 3.1 berikut ini akan ditampilkan daftar komponen yang dibutuhkan.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Komponen

No	Komponen	Spesifikasi	Gambar
1	Green LED - 525nm	<p><i>Continuous Forward Current:</i> 20 mA</p> <p><i>Forward Voltage:</i> 3.2V</p> <p><i>Maximum Forward Voltage:</i> 3.8V</p> <p><i>Operating Temperature:</i> - 40~+85 °C (-40~+185 °F)</p> <p><i>Wavelength:</i> 525 nm</p>	

No	Komponen	Spesifikasi	Gambar
2	Green Super Bright LED - 510 nm	<p><i>Continuous Forward Current:</i> 60mA</p> <p><i>Forward Voltage:</i> 3.2V</p> <p><i>Maximum Forward Voltage:</i> 3.4V</p> <p><i>Operating Temperature:</i> -20~+80 °C (-4~+176 °F)</p> <p><i>Wavelength:</i> 510 nm</p>	
3	Kuvet	<p>Bahan: Polystyrena</p> <p>Kapasitas: 4.5 mL</p> <p><i>Cuvette type:</i> macro</p> <p><i>Dimensions:</i> 12.5x12.5x45 mm</p> <p><i>Path length:</i> 10.0 mm</p>	
4	Sensor TCS34725	<p>Sensor: TCS34725FN</p> <p>Antarmuka komunikasi: I2C</p> <p>Tegangan operasi: 3.3V/5V</p> <p>Dimensi: 27mm × 20mm</p> <p>Resolusi: 4-ch RGBC, 16-bit per saluran</p> <p>Jarak pengukuran yang disarankan: 2mm</p>	
5	ESP32	<p><i>Operating voltage :</i> 3.3V</p> <p><i>Input voltage :</i> 7-12V (Vin)</p> <p><i>Digital IO Pin (DIO) :</i> 25</p> <p><i>Analog Input Pin (ADC) :</i> 6</p> <p><i>Analog Output Pin (DAC) :</i> 2</p>	
6	Power Supply Switching 12V 3A	<p>Sumber tegangan <i>input</i> : 110-240 V AC</p> <p>Tegangan <i>Output</i> : 12V DC</p> <p>Daya maksimal : 3A (60W)</p>	

No	Komponen	Spesifikasi	Gambar
7	3.5" LCD TFT SPI Serial	Diagonal LCD : 3.5 inch Ukuran LCD : 55 x 82 mm Ukuran Module : 56.5 x 97.5mm Resolusi : 320 x 480 pixel IC Driver : ILI9488 Interface : SPI Serial Touch Screen Card reader : SD Card Slot Power supply : 3.3~5V DC Data Logic level : 3.3V	
8	Saklar <i>ON-OFF</i>	Dimensi ukuran di luar: 2,1 cm x 1,5 cm (Panjang x Lebar) Dimensi ukuran di dalam: 1,8 cm x 1,2 cm (Panjang x Lebar) Tinggi body hitam: 1,1 cm Tinggi: 2 cm (termasuk kaki / pin) Jumlah Pin: 2 Kaki Warna Body: Hitam	
9	<i>Feed Tank</i> dan <i>Storage Tank</i>	Diameter : 22 cm Tinggi Wadah : 30 cm Volume : 11,4 Liter	
10	Pompa Air DC 12v	Voltase : 12V ( 9v - 14.4v ) Amp : 2.2A Flow : 3.1 LPM Press : <i>runing</i> at 80psi ( max 130psi )	

No	Komponen	Spesifikasi	Gambar
11	<i>Housing Filter Sediment</i>	Panjang : 12 cm Tinggi : 31 cm Filter air 10 inch	

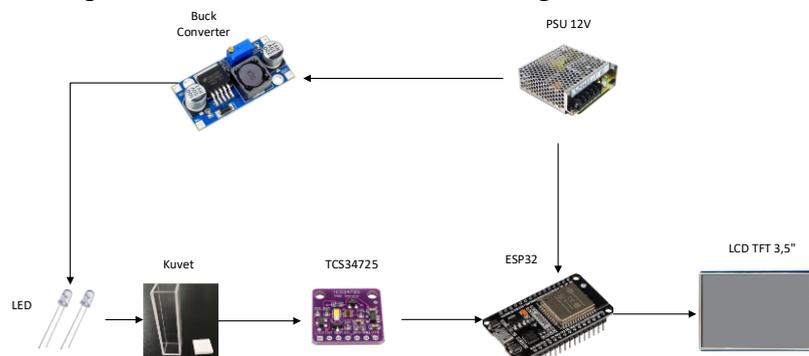
### 3.4 Perancangan Sistem

Pada Perancangan Sistem dibagi menjadi dua tahapan, yaitu perancangan sistem monitoring dan perancangan sistem filtrasi.

#### 3.4.1 Perancangan Sistem Monitoring

##### 3.4.1.1 Skema dan Wiring Sistem Monitoring Kadar Fe dan Mn

Perancangan skema dan diagram wiring sistem digunakan untuk memahami konsep dalam Proyek Akhir ini. Skema sistem menggambarkan hubungan antara berbagai komponen dalam sebuah sistem, sementara diagram wiring menunjukkan representasi visual dari koneksi antar komponen menggunakan kabel. Pada gambar 3.2 di bawah ini merupakan skema dari sistem monitoring Kadar Fe dan Mn.



**Gambar 3.2** Skema *Hardware* Sistem *Monitoring* Kadar Fe dan Mn

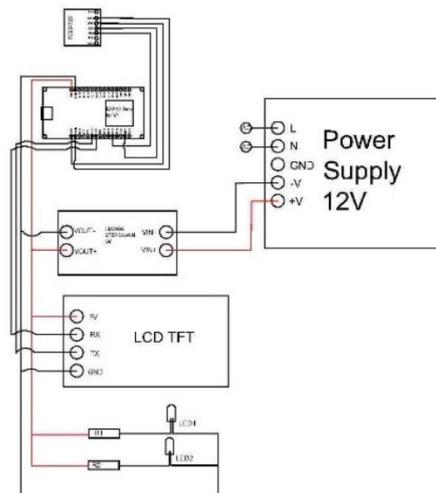
Gambar 3.2 merupakan konfigurasi sistem *hardware* yang digunakan untuk mengukur konsentrasi ion besi (Fe) dan mangan (Mn) berdasarkan prinsip transmitansi cahaya. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sumber daya (PSU dan *buck converter*), sumber cahaya (LED), sistem deteksi (sensor TCS34725), mikrokontroler (ESP32), serta perangkat *display* (LCD TFT 3,5”).

Prinsip kerja sistem diawali dengan sumber cahaya LED memancarkan cahaya menuju kuvet yang berisi sampel larutan. Sampel tersebut akan menyerap sebagian cahaya tergantung pada konsentrasi zat yang terkandung di dalamnya, dalam hal ini ion Fe dan Mn. Cahaya yang lolos dari sampel kemudian dideteksi oleh sensor TCS34725, yang mampu mengukur intensitas cahaya.

Selanjutnya, data intensitas cahaya yang terdeteksi oleh sensor akan dikirim ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi I2C. ESP32 kemudian melakukan proses

pengolahan data. Hasil akhir dari pengolahan data ditampilkan melalui layar LCD TFT 3,5", yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk memvisualisasikan nilai kadar Fe dan Mn dari sampel yang diuji.

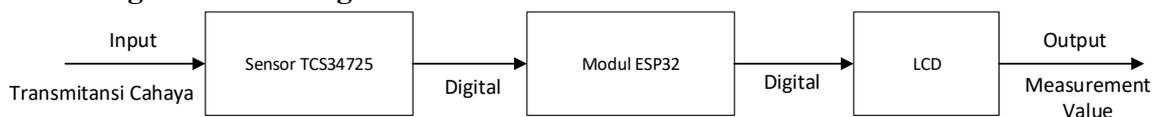
Sumber daya utama berasal dari Power Supply Unit (PSU) 12V, yang kemudian diturunkan menggunakan buck converter menjadi tegangan yang sesuai untuk mensuplai LED, sensor, dan ESP32. Konfigurasi ini dirancang untuk memastikan kestabilan suplai daya dan kinerja optimal dari seluruh komponen sistem.



**Gambar 3.3** *Wiring Diagram* Sistem Monitoring

Gambar 3.3 merupakan *wiring diagram* dari sistem filtrasi Fe dan Mn. Sistem ini ditenagai oleh catu daya eksternal 12V DC yang kemudian diturunkan tegangannya menjadi 5V menggunakan modul step-down LM2596. Output dari LM2596 digunakan untuk memberi daya pada mikrokontroler ESP32. ESP32 berfungsi sebagai unit kendali utama yang mengatur jalannya proses filtrasi dan komunikasi data. Sensor TCS34725 yang digunakan dihubungkan langsung ke pin input ESP32. Selain itu, terdapat modul relay yang digunakan sebagai aktuator untuk mengendalikan pompa filtrasi. Modul relay ini dikendalikan langsung oleh *output* dari ESP32.

### 3.4.1.2 Perancangan Sistem Pengukuran Kadar Fe dan Mn



**Gambar 3.4** Diagram Blok Sistem Monitoring

Pada Gambar 3.4 menunjukkan diagram blok dari sistem monitoring kadar ion Fe dan Mn dalam air sumur. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sensor TCS34725, mikrokontroler ESP32, dan tampilan LCD.

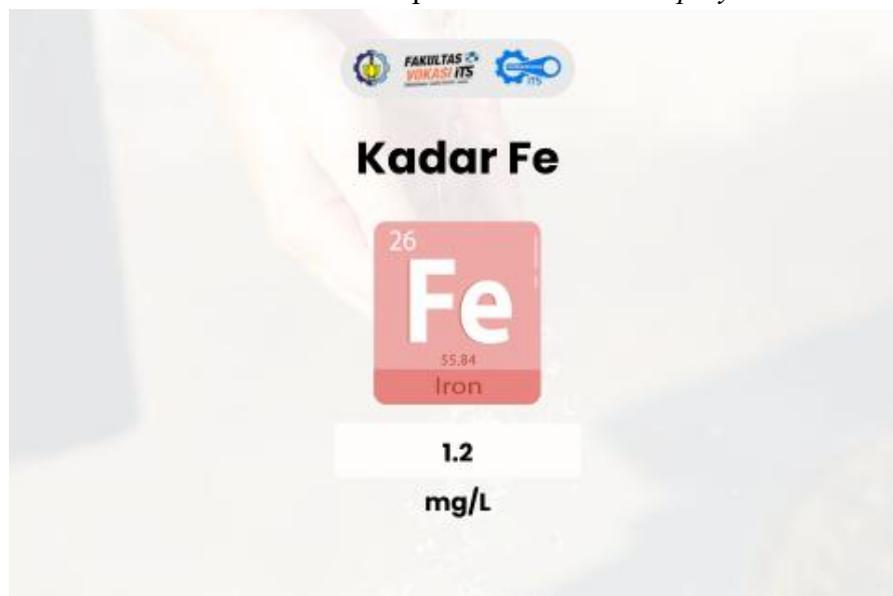
Sensor TCS34725 berfungsi sebagai pendeteksi intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh sampel. Ketika sampel air yang mengandung ion Fe dan Mn disinari dengan cahaya pada panjang gelombang tertentu, sebagian dari cahaya tersebut akan diserap oleh ion-ion tersebut melalui proses absorpsi cahaya. Sisa cahaya yang tidak terserap akan diteruskan dan ditangkap oleh sensor TCS34725. Intensitas

cahaya yang ditransmisikan inilah yang digunakan untuk menghitung nilai absorbansi, yang berkaitan langsung dengan konsentrasi zat dalam sampel.

Sensor TCS34725 akan mengubah informasi cahaya tersebut menjadi sinyal digital, yang kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32. Di dalam ESP32, data digital ini diproses dan dikonversi menjadi nilai konsentrasi berdasarkan algoritma atau regresi kalibrasi tertentu. Hasil pengolahan tersebut kemudian ditampilkan secara langsung pada layar LCD sebagai nilai kadar terukur.



**Gambar 3.5** Tampilan Awal LCD *Display*



**Gambar 3.6** Tampilan LCD *Display* Kadar Fe

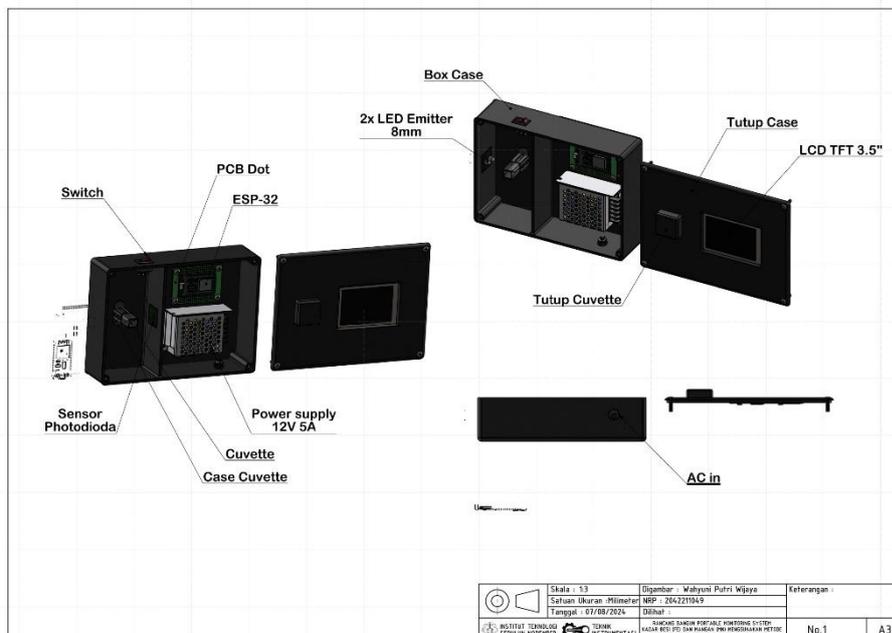


**Gambar 3.7** Tampilan LCD *Display* Kadar Mn

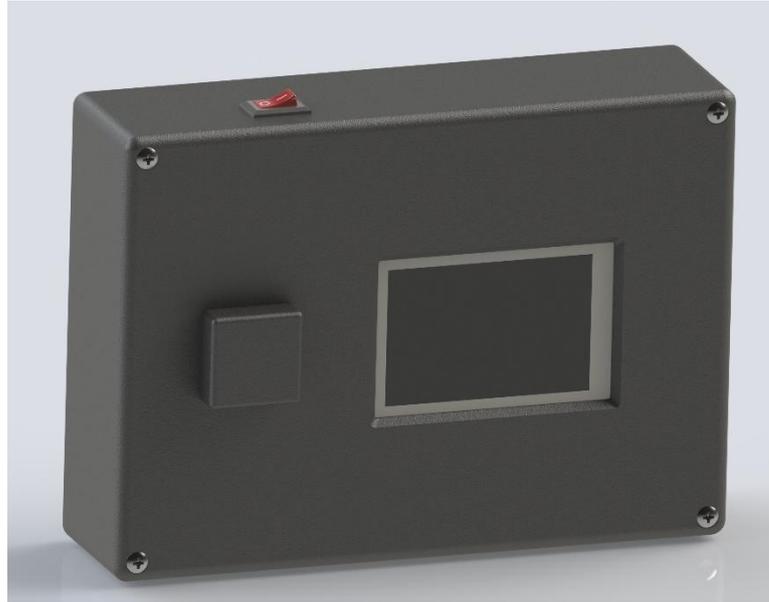
Gambar 3.5, 3.6, 3.7 adalah tampilan LCD untuk hasil pengukuran sistem monitoring kadar Fe dan Mn. Pada layar LCD ditampilkan hasil pengukuran kadar Fe dan Mn secara *realtime*.

### 3.4.1.3 Perancangan Desain *Hardware* Sistem Monitoring Kadar Fe dan Mn

Perancangan desain *hardware* sistem monitoring kadar Fe dan Mn ini menggunakan sketsa 3D yang bertujuan untuk memberikan gambaran alat yang akan dibuat. Perancangan desain 3D Sistem Monitoring Kadar Fe dan Mn dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3.8** Desain 3D Sistem Monitoring Kadar Fe dan Mn



**Gambar 3.9** Desain *Hardware* Tampak Atas

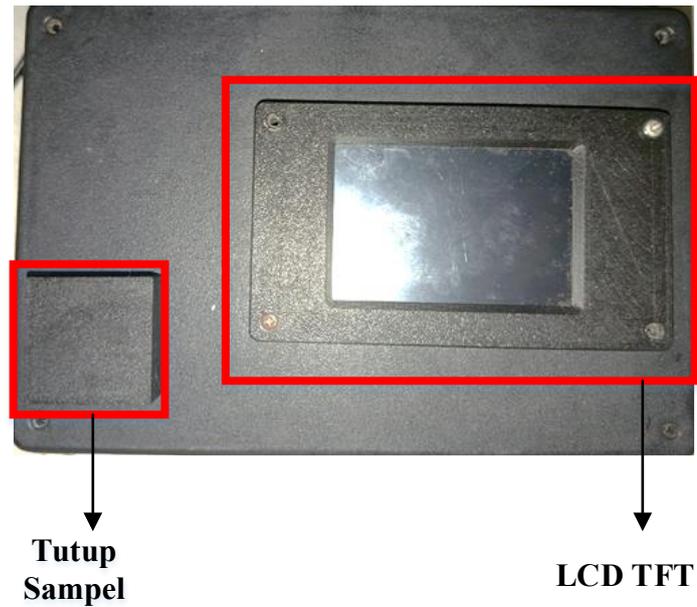
Pada Gambar 3.9 di atas merupakan gambar desain *hardware* apabila penutup alat dibuka. Dalam *hardware* terdapat beberapa komponen seperti sensor TCS34725, dua buah LED *emitter* dengan masing-masing panjang gelombang 510nm dan 525nm, kuvet yang digunakan sebagai wadah sampel air, mikrokontroler ESP32, *powersupply* 12V 5A, dan LCD TFT 3,5". Sedangkan, pada Gambar 3.7 merupakan desain *hardware* tampak atas dan terlihat terdapat penutup untuk kuvet sampel dan LCD.

#### **3.4.1.4 Pembuatan *Hardware* Sistem Monitoring Kadar Fe dan Mn**

Proses pembuatan *hardware* sistem monitoring kadar Fe dan Mn diawali dengan perakitan dan integrasi seluruh komponen utama. Komponen sumber cahaya berupa LED hijau digunakan untuk menyinari sampel air yang mengandung ion Fe dan Mn, masing-masing dengan panjang gelombang optimal sekitar 510 nm untuk Fe dan 525 nm untuk Mn. Cahaya dari LED diarahkan ke sampel yang ditempatkan dalam kuvet, sehingga terjadi interaksi cahaya dengan senyawa terlarut dalam sampel melalui proses absorpsi cahaya.

Cahaya yang tidak terserap oleh sampel akan diteruskan dan dideteksi oleh sensor TCS34725, yang berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui sampel. Sinyal digital yang dihasilkan oleh sensor TCS34725 kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32, yang bertugas untuk memproses data dan mengonversinya menjadi nilai konsentrasi berdasarkan model regresi atau algoritma kalibrasi yang telah ditentukan. Hasil pengukuran ini ditampilkan secara langsung pada layar LCD TFT 3,5" sebagai antarmuka pengguna.

Selain menampilkan hasil lokal, sistem juga dilengkapi dengan kemampuan pengiriman data ke platform monitoring berbasis *cloud*. Fitur ini memungkinkan pemantauan kadar Fe dan Mn secara daring dan terintegrasi. Gambar 3.10 di bawah ini merupakan *hardware* hasil perakitan alat ukur kadar Fe dan Mn.

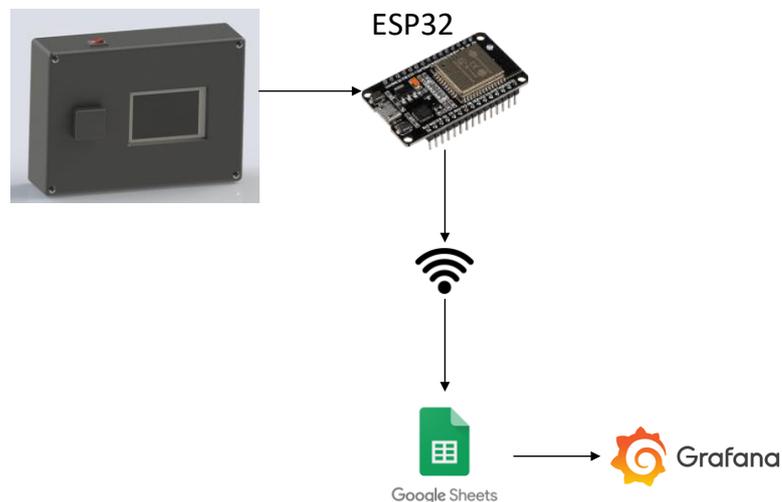


**Gambar 3.10** Hasil Perakitan Alat Ukur Kadar Fe dan Mn

### 3.4.1.5 Perancangan Sistem Monitoring Online

Pada perancangan sistem monitoring secara *online* ini menggunakan komponen ESP32 untuk menghubungkan *hardware* dengan internet. Data dari sensor yang diterima oleh ESP32 akan disimpan pada *database* Spreadsheets, kemudian data akan ditampilkan pada *dashboard* menggunakan platform Grafana.

Pada Gambar 3.11 di bawah ini merupakan skema perancangan sistem *monitoring online* dari *portable monitoring system* kadar Fe dan Mn.



**Gambar 3.11** Skema Perancangan Sistem Monitoring Online

#### 3.4.1.5.1 Integrasi ESP32 dengan Internet dan Google Sheets

ESP32 dirancang untuk dapat terhubung ke jaringan internet secara otomatis setelah informasi jaringan (SSID dan *password* WiFi) tersimpan di dalam memori perangkat. Dengan demikian, pengguna tidak perlu mengatur ulang koneksi setiap

kali perangkat dinyalakan. Setelah koneksi internet aktif, data hasil pembacaan dari sensor akan secara otomatis dikirimkan ke Google Sheets.

Pengiriman data ini dilakukan melalui sebuah layanan skrip otomatis bernama Google Apps Script, yang berfungsi menerima data dari ESP32 dan langsung mencatatkannya ke dalam baris baru di Google Sheets. Data dikirim dalam bentuk permintaan HTTP (POST) yang diproses oleh skrip, kemudian dituliskan sesuai format yang telah ditentukan.

Penggunaan Google Sheets memberikan keuntungan karena data yang tercatat dapat diakses secara daring (*online*), dibagikan, dan dianalisis tanpa memerlukan sistem basis data khusus. Selain itu, hasil pengukuran dapat dengan mudah divisualisasikan atau diolah lebih lanjut untuk keperluan evaluasi dan pemantauan kualitas air secara real-time.

#### **3.4.1.5.2 Integrasi Google Sheets dengan Grafana**

Integrasi antara Google Sheets dan Grafana memungkinkan data hasil pengukuran yang tersimpan di Google Sheets dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik dan panel interaktif. Proses ini diawali dengan pembuatan tautan data menggunakan Google Apps Script, yang berfungsi sebagai jembatan antara Google Sheets dan Grafana. Skrip ini mengatur bagaimana data dibaca dari spreadsheet dan disajikan dalam format yang dapat diakses oleh Grafana, biasanya dalam bentuk JSON API atau URL *endpoint*.

Setelah skrip berhasil dikonfigurasi, Google Sheets ditambahkan sebagai data *source* di Grafana dengan menggunakan plugin JSON API atau layanan perantara seperti Google Sheets API yang disesuaikan. Grafana kemudian mulai mengambil data secara periodik dari spreadsheet tersebut. Setiap panel pada dashboard Grafana dapat disesuaikan untuk menampilkan data tertentu, seperti kadar Fe dan Mn.

Dengan sistem ini, data hasil pengukuran dapat dipantau secara real-time tanpa memerlukan database khusus. Proses ini sangat efisien untuk keperluan monitoring karena Google Sheets mudah diakses, kolaboratif, dan terintegrasi langsung ke sistem cloud, sementara Grafana memberikan tampilan visual yang informatif .

#### **3.4.1.5.3 Tampilan *Dashboard Monitoring Online***

*Monitoring online* menggunakan platform grafana yang sudah menyediakan beberapa *tools* untuk visualisasi data pada *dashboard monitoring*. Adapun *dashboard monitoring* untuk pengukuran kadar Fe dan Mn ada pada Gambar 3.12 di bawah ini.



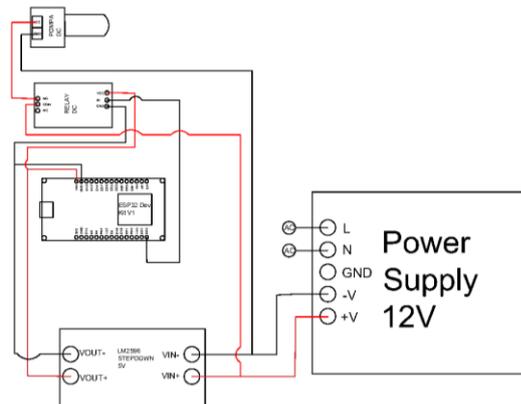
**Gambar 3.12** *Dashboard Monitoring Online*

Gambar 3.12 tersebut menunjukkan tampilan *dashboard* visualisasi hasil pembacaan kadar logam Fe dan Mn dari alat ukur berbasis IoT. *Dashboard* ini dirancang untuk memberikan pemantauan secara *real-time* terhadap parameter kualitas air yang ditampilkan dalam satuan mg/L. Pada bagian kiri atas, terdapat gauge meter yang menyajikan kadar logam terkini secara grafis. Di bawahnya, terdapat informasi jenis parameter yang sedang dipantau, yaitu Fe (besi), yang ditampilkan dengan huruf besar dan warna hijau agar mudah dikenali.

Sementara itu, bagian kanan dashboard memuat tabel histori data yang berisi informasi tanggal pengambilan sampel, waktu pengukuran, nilai kadar dan jenis parameter. Data yang ditampilkan mempermudah pengguna dalam melacak fluktuasi kadar logam dari waktu ke waktu, serta menyediakan basis data untuk analisis lebih lanjut.

### 3.4.2 Perancangan Sistem Filtrasi

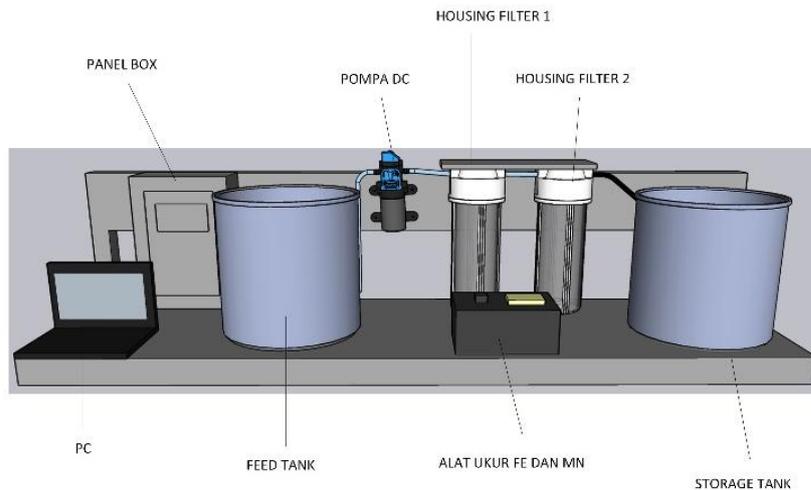
#### 3.4.2.1 Perancangan *Wiring* Sistem Filtrasi



**Gambar 3.13** *Wiring Diagram* Sistem Filtrasi

Gambar 3.13 menunjukkan diagram pengkabelan yang digunakan untuk system filtrasi yang dirancang menggunakan sumber catu daya utama 12V DC. Tegangan ini kemudian diturunkan menggunakan modul step-down LM2596 untuk menyesuaikan kebutuhan tegangan komponen lainnya, terutama mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 Dev Board yang menjadi pusat kendali dari sistem filtrasi.

### 3.4.2.2 Perancangan Desain Sistem Filtrasi



**Gambar 3.14** Desain 3D Sistem Filtrasi

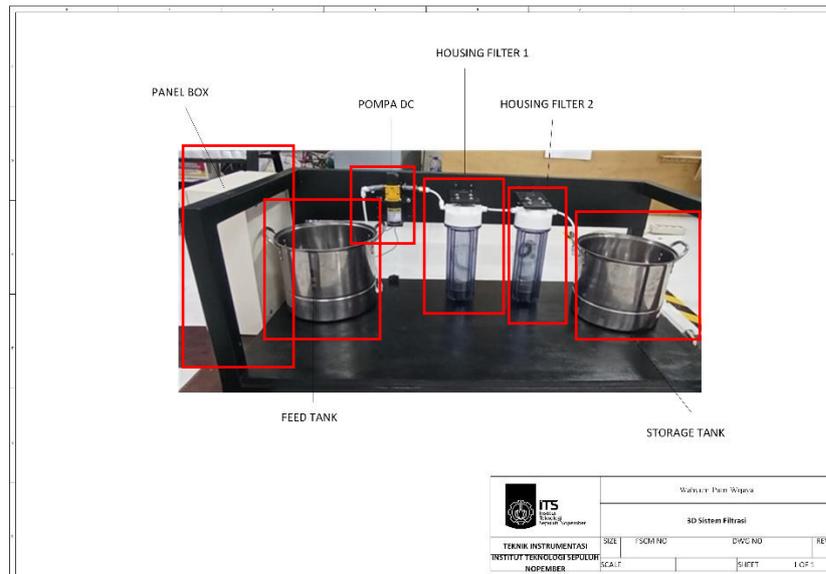
Gambar 3.14 tersebut merupakan sebuah sistem filtrasi yang dirancang untuk mengurangi kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air sumur. Berikut adalah penjelasan rinci dari komponen-komponen dalam sistem tersebut:

- Tangki Penyimpanan Air Baku (*Feed Tank*): Menampung air yang belum difiltrasi dari sumber sebelum diproses lebih lanjut.
- Pompa Air: Mengalirkan air dari tangki penyimpanan air baku ke sistem filtrasi.
- Housing Filter Pertama: Melakukan klorinasi air, mencampurkan klorin untuk mengendapkan Fe dan Mn.
- Housing Filter Kedua: Menyaring partikel besar dan kotoran seperti pasir, lumpur, dan bahan organik, serta menghilangkan kontaminan spesifik seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) dengan menggunakan bahan sedimen yaitu pasir silika, zeolit, dan karbon aktif.
- Tangki Penyimpanan Air Bersih (*Storage Tank*): Menampung air yang sudah bersih dan siap digunakan setelah melewati dua tahap filtrasi.
- Panel Box: Mengatur operasi sistem filtrasi, seperti menghidupkan/mematikan pompa dan memberikan indikasi status operasional dengan lampu LED.

### 3.4.2.3 Pembuatan *Hardware* Sistem Filtrasi

Pembuatan alat sistem filtrasi air ini bertujuan untuk menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air sumur agar memenuhi standar kualitas air yang aman digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, terutama dalam hal higiene dan sanitasi. Sistem ini memanfaatkan metode klorinasi-filtrasi, yang merupakan salah satu metode efektif dalam menghilangkan ion besi dan mangan dari air dengan memanfaatkan oksidasi kimia dan media filtrasi.

Pada Gambar 3.15 merupakan hasil pembuatan alat dari sistem filtrasi air.



**Gambar 3.15** Hasil Pembuatan Alat Sistem Filtrasi

Gambar 3.15 tersebut menunjukkan sebuah sistem filtrasi yang dirancang untuk mengurangi kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air sumur. Berikut adalah penjelasan rinci dari komponen-komponen dalam sistem tersebut:

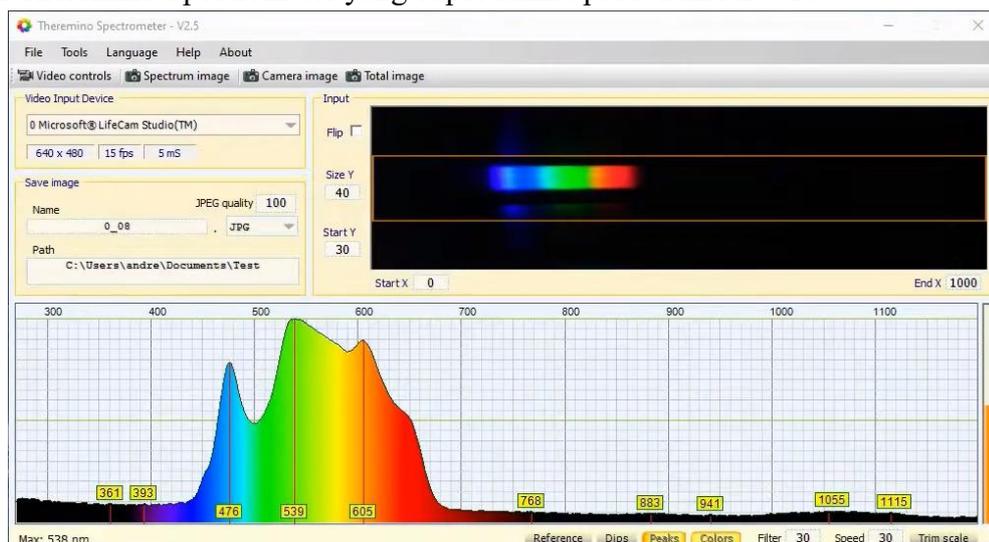
- Panel Box: Mengatur operasi sistem filtrasi, seperti menghidupkan/mematikan pompa dan memberikan indikasi status operasional dengan lampu LED.
- Tangki Penyimpanan Air Baku (*Feed Tank*): Menampung air yang belum difiltrasi dari sumber sebelum diproses lebih lanjut.
- Pompa Air: Mengalirkan air dari tangki penyimpanan air baku ke sistem filtrasi.
- Housing Filter Pertama: Melakukan klorinasi air, mencampurkan klorin untuk mengendapkan Fe dan Mn.
- Housing Filter Kedua: Menyaring partikel besar dan kotoran seperti pasir, lumpur, dan bahan organik, serta menghilangkan kontaminan spesifik seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) dengan menggunakan bahan sedimen yaitu pasir silika, zeolit, dan karbon aktif.
- Tangki Penyimpanan Air Bersih (*Storage Tank*): Menampung air yang sudah bersih dan siap digunakan setelah melewati dua tahap filtrasi.

### 3.5 Pembuatan Alat Sistem Monitoring dan Sistem Filtrasi

Tahap pertama dalam pembuatan sistem *hardware* adalah membangun sistem monitoring kadar Fe dan Mn. Proses ini dilakukan dengan meletakkan sampel air dalam kuvet dan menyinarinya dengan sinar LED. Sensor TCS34725 kemudian akan menangkap transmitansi cahaya dari sampel tersebut yang kemudian diproses menjadi pengukuran kadar Fe dan Mn. Pada alat ukur ini juga terdapat *dashboard monitoring* yang dapat digunakan sebagai *record* data hasil pengukuran yang telah dilakukan. Tahap kedua adalah pembuatan sistem filtrasi. Sistem ini menggunakan dua *housing filter*. *Housing filter* pertama melakukan proses klorinasi untuk memadatkan Fe dan Mn yang terkandung dalam air. *Housing filter* kedua melakukan proses filtrasi menggunakan sedimentasi, yang melibatkan tiga bahan: pasir silika, zeolit, dan karbon aktif.

### 3.5.1 Validasi Panjang Gelombang Sumber Cahaya

Panjang gelombang LED yang digunakan sebagai sumber cahaya pada alat sistem monitoring untuk mengukur kadar Fe dan Mn dalam air dapat diukur dengan menggunakan perangkat lunak Theremino Spectrometer. Theremino Spectrometer adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis spektrum cahaya yang ditangkap oleh sensor, seperti kamera. Prinsip kerja dari perangkat lunak Theremino Spectrometer ini yaitu cahaya yang melewati suatu sampel atau sumber cahaya ditangkap oleh kamera atau sensor. Cahaya ini biasanya melewati kisi difraksi yang memecah cahaya menjadi komponen spektralnya, menghasilkan spektrum yang dapat dilihat. Kemudian, perangkat lunak Theremino Spectrometer mengambil gambar spektrum yang dihasilkan oleh sensor. Gambar ini kemudian diproses untuk memperoleh data seperti panjang gelombang dan intensitas cahaya pada masing-masing panjang gelombang. Data yang diperoleh dianalisis untuk menentukan karakteristik spektrum, seperti puncak panjang gelombang, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi bahan atau substansi berdasarkan spektrum cahayanya. Hasil analisis spektrum ditampilkan dalam bentuk grafik, di mana sumbu x mewakili panjang gelombang (dalam nanometer) dan sumbu y mewakili intensitas cahaya. Perangkat Lunak Theremino Spectrometer yang dapat dilihat pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.16** Perangkat Lunak Theremino Spectrometer

Langkah-langkah untuk validasi panjang gelombang LED menggunakan perangkat lunak Theremino Spectrometer yaitu:

1. Tempatkan LED di depan sensor atau kamera yang terhubung dengan Theremino Spectrometer dengan menggunakan wadah tertutup untuk mengurangi cahaya lain terlihat pada sensor atau kamera.
2. Jalankan *software* Theremino Spectrometer dan lakukan pengambilan spektrum LED. Spektrum yang dihasilkan akan menunjukkan intensitas cahaya LED pada berbagai panjang gelombang.
3. Lihat pada grafik spektrum yang dihasilkan oleh Theremino Spectrometer untuk menemukan puncak (*peak*) intensitas cahaya. Puncak ini akan mewakili panjang gelombang dominan dari LED tersebut.

4. Bandingkan hasil pengukuran panjang gelombang dengan panjang gelombang yang tertera di *datasheet* LED.

### 3.5.2 Pembersihan Pipet dan Kuvet yang digunakan untuk Alat Ukur

Pembersihan pipet dan kuvet yang digunakan dalam alat ukur kadar Fe dan Mn sangat penting karena bertujuan untuk mencegah kontaminasi silang dan menjaga kemurnian sampel, sehingga Fe dan Mn yang terdapat dalam sampel air yang diukur. Dengan menghilangkan sisa-sisa larutan dan residu kimia dari pengukuran sebelumnya, pembersihan ini juga memastikan bahwa penyerapan cahaya dalam kuvet tidak terganggu, sehingga hasil pengukuran lebih akurat dan tidak terpengaruh oleh zat asing yang mungkin tertinggal. Metode yang dapat digunakan untuk pembersihan pipet ataupun kuvet yaitu:

- 1) Bilas pipet dan kuvet dengan air suling untuk menghilangkan sisa-sisa reagen atau kemudian keringkan.

### 3.6 Pengujian Efektivitas Sistem Filtrasi

Pengujian sistem filtrasi diperlukan untuk mengukur efektivitas penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air dengan menggunakan metode perbandingan rasio komposisi berbeda dari bahan sedimen filtrasi yang digunakan. Proses filtrasi dilakukan dengan mengalirkan air sampel dari *feed tank* menuju kolom klorinasi dan kolom filtrasi. Setelah proses filtrasi, air yang keluar dari kolom diuji kembali untuk mengukur penurunan kadar Fe dan Mn. Pengukuran kadar Fe dan Mn dilakukan sebelum dan sesudah proses filtrasi menggunakan alat ukur yang telah dibuat. Hasil pengukuran dinyatakan dalam satuan mg/L.

### 3.7 Perhitungan Volume dan Penentuan Rasio *Cartridge* pada Sistem Filtrasi

Sistem filtrasi dalam penelitian ini menggunakan media filter yang terdiri dari tiga bahan utama, yaitu pasir silika, pasir zeolit, dan karbon aktif. Media ini dimasukkan ke dalam cartridge filter dengan spesifikasi 20 cm (tinggi) × 10 cm (diameter), maka dari itu dapat dihitung volume tabung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \pi r^2 t \\ &= 3,14 \times 3,25^2 \times 19,5 \\ &= 646,7 \text{ cm}^3 \\ &= 0,6467 \text{ l} = 0,6467 \text{ kg} = 646 \text{ gr} \end{aligned}$$

Setelah diketahui volume tabung, maka dapat dilakukan penentuan rasio sedimen untuk sistem filtrasi air. Rasio bahan dalam sistem filter akan diberikan beberapa variasi seperti pada Tabel 3.2, 3.3, dan 3.4.

Tabel 3.2 menyajikan komposisi pertama pada sistem filtrasi air yang mengandung ion Fe dan Mn dengan variasi rasio bahan sedimen. Pada komposisi ini, proporsi pasir silika ditingkatkan secara bertahap dari Rasio I hingga Rasio V, yakni dari 45% menjadi 85%, sementara persentase pasir zeolit dan karbon aktif dikurangi secara proporsional. Variasi ini dirancang untuk mengamati pengaruh dominasi pasir silika terhadap efektivitas filtrasi dalam menghilangkan kandungan Fe dan Mn dari air. Tujuan dari

penyusunan variasi ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana pasir silika mampu berperan sebagai media utama dalam proses penyaringan.

Dalam tabel tersebut, setiap rasio menunjukkan kombinasi persentase bahan sedimen dan konversi massanya dalam satuan gram berdasarkan total massa media filter sebesar 646,7 gram.

**Tabel 3.2** Komposisi 1 dan Massa Media Filter

Rasio	Pasir Silika)		Pasir Zeolit		Karbon Aktif	
	Persentase (%)	Massa (g)	Persentase (%)	Massa (g)	Persentase (%)	Massa (g)
I	45%	290.7	33%	213.18	22%	142.12
II	55%	355.3	28%	180.88	17%	109.82
III	65%	419.9	23%	148.58	12%	77.52
IV	75%	484.5	18%	116.28	7%	45.22
V	85%	549.1	13%	83.98	2%	12.92

Tabel 3.3 merupakan komposisi kedua pada sistem filtrasi air, di mana fokus utama diberikan pada peningkatan proporsi pasir zeolit sebagai media filtrasi. Dalam variasi ini, rasio pasir zeolit meningkat secara bertahap dari 33% pada Rasio I hingga 73% pada Rasio V, sementara persentase pasir silika dan karbon aktif menurun. Tujuan dari variasi ini adalah untuk mengevaluasi kinerja pasir zeolit sebagai komponen utama dalam menyerap ion logam, khususnya Fe dan Mn, mengingat zeolit memiliki daya adsorpsi yang tinggi terhadap ion logam dan kation tertentu.

Seiring meningkatnya proporsi zeolit, terjadi penyesuaian massa masing-masing bahan berdasarkan total massa media filter sebesar 646,7 gram. Peningkatan ini terlihat dari bertambahnya massa pasir zeolit dari 213,18 gram menjadi 471,58 gram, sementara massa pasir silika dan karbon aktif berkurang. Rincian distribusi persentase dan massa tiap bahan dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3** Komposisi 2 dan Massa Media Filter

Rasio	Pasir Silika		Pasir Zeolit		Karbon Aktif	
	Persentase (%)	Massa (g)	Persentase (%)	Massa (g)	Persentase (%)	Massa (g)
I	45%	290.7	33%	213.18	22%	142.12
II	40%	258.4	43%	277.78	17%	109.82
III	35%	226.1	53%	342.38	12%	77.52
IV	30%	193.8	63%	406.98	7%	45.22
V	25%	161.5	73%	471.58	2%	12.92

Tabel 3.4 menampilkan komposisi ketiga yang dirancang untuk mengevaluasi kinerja karbon aktif sebagai media utama dalam sistem filtrasi. Pada variasi ini, rasio karbon aktif ditingkatkan dari 22% pada Rasio I menjadi 62% pada Rasio V, dengan penurunan proporsi pasir silika dan pasir zeolit secara bertahap. Karbon aktif dipilih karena

kemampuannya yang tinggi dalam menyerap berbagai kontaminan, baik organik maupun anorganik, berkat luas permukaan dan struktur pori yang besar.

Dalam penerapannya, peningkatan rasio karbon aktif mengakibatkan kenaikan massa dari 142,12 gram menjadi 400,52 gram, seiring dengan pengurangan massa pasir silika dan zeolit. Tabel 3.4 menyajikan persentase dan massa masing-masing bahan pada tiap rasio untuk komposisi tiga.

**Tabel 3.4** Komposisi 3 dan Massa Media Filter

Rasio	Pasir Silika		Pasir Zeolit		Karbon Aktif	
	Persentase (%)	Massa (g)	Persentase (%)	Massa (g)	Persentase (%)	Massa (g)
I	45%	290.7	33%	213.18	22%	142.12
II	40%	258.4	28%	180.88	32%	206.72
III	35%	226.1	23%	148.58	42%	271.32
IV	30%	193.8	18%	116.28	52%	335.92
V	25%	161.5	13%	83.98	62%	400.52

### 3.8 Pengambilan Data

Proses pengambilan data dalam Proyek Akhir ini dilakukan dengan cara menguji linieritas hasil pengukuran alat ukur dengan sampel Fe dan Mn yang telah diketahui dengan tegangan keluar dari sensor terlebih dahulu. Setelah dilakukan uji linieritas, maka akan diketahui persamaan hubungan tegangan keluaran sensor dengan kadar Fe dan Mn. Setelah diketahui persamaan tersebut, maka dapat dilakukan konversi hasil pengukuran sensor yang awalnya berupa tegangan keluaran sensor menjadi kadar Fe dan mangan dengan satuan mg/L. Sedangkan untuk pengambilan data sistem filtrasi dilakukan dengan cara membandingkan keefektifitasan tiap komposisi yang diuji, bertujuan untuk mengetahui komposisi mana yang paling efektif digunakan untuk menurunkan kadar Fe dan Mn dalam air.

### 3.9 Analisis data dan Pengujian Laboratorium Eksternal

Analisis data dalam penelitian ini berfokus pada evaluasi kinerja keseluruhan sistem monitoring dan sistem filtrasi telah berfungsi dengan baik. Evaluasi mencakup pengujian akurasi data dari sensor yang digunakan. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan visualisasi dan perbandingan data. Tabel digunakan untuk menampilkan data mentah hasil pengukuran, sedangkan grafik digunakan untuk menggambarkan tren dan pola data dengan lebih jelas. Hasil analisis data juga perlu dibandingkan dengan hasil uji laboratorium eksternal sebagai validator. Terutama untuk membandingkan hasil pembacaan sensor dengan hasil uji lab. Setelah dilakukan analisis data, diperoleh informasi mengenai karakteristik statik data dari serta tingkat akurasi sistem monitoring. Jika terdapat perbedaan antara data pengukuran dengan nilai yang diharapkan, akan dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebab masalah, seperti kalibrasi sensor yang tidak tepat atau gangguan pada sistem. Tujuan

akhir dari analisis data adalah memberikan bukti empiris mengenai kinerja sistem monitoring.

### **3.10 Pembuatan Laporan**

Laporan Proyek Akhir harus disusun sesuai dengan pedoman yang ditetapkan dalam peraturan Proyek Akhir. Struktur laporan terdiri dari Bab 1 hingga Bab 5. Penggunaan bahasa baku dan efektif dengan berpedoman pada ejaan bahasa Indonesia yang benar adalah suatu keharusan. Laporan akhir disusun setelah seluruh tahapan penelitian selesai dilakukan. Diharapkan laporan ini dapat memberikan manfaat bagi penelitian selanjutnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Komponen

#### 4.1.1 Hasil Pengujian Sensor Warna dan Intensitas Cahaya TCS34725

Sub bab 4.1.1 adalah sub bab untuk menjelaskan hasil pengujian intensitas cahaya. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai pengukuran intensitas cahaya oleh sensor dan validator, maka dilakukan percobaan menggunakan objek bohlam lampu yang memiliki variasi intensitas cahaya sebanyak 10 tingkatan. Dengan demikian diperoleh data hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.1.

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan sensor TCS34725 dengan alat ukur cahaya yang terstandar yaitu Lux Meter. Interval waktu pengambilan data dilakukan setiap 10 detik dengan pengambilan data sebanyak 10 data.

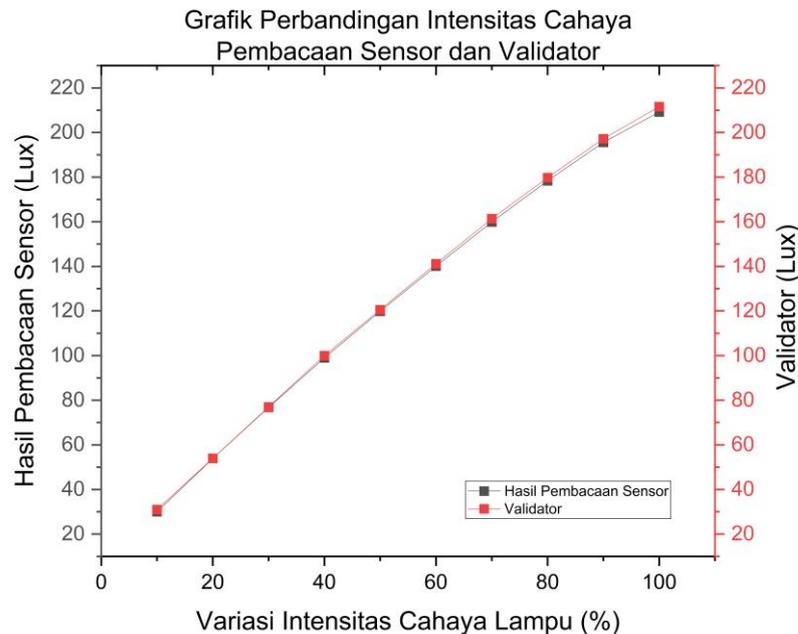
Tabel 4.1 menyajikan data hasil pengukuran sensor warna TCS34725 yang dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran dari validator. Pengujian dilakukan menggunakan sumber cahaya berupa lampu bohlam LED dengan dimmer yang memungkinkan pengaturan intensitas cahaya secara bertahap. Dalam pengujian ini, intensitas cahaya diatur pada 10 tingkat berbeda, mulai dari kondisi paling redup hingga paling terang. Setiap tingkat pencahayaan diuji satu per satu dan sensor TCS34725 mencatat nilai pembacaannya pada tiap level intensitas cahaya. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan data hasil pengukuran dari alat validator untuk menilai akurasi dan presisi sensor terhadap variasi tingkat pencahayaan lampu.

**Tabel 4.1** Data Pembacaan Intensitas Cahaya oleh Sensor TCS34725 dan Validator

Variasi Persentase Intensitas Cahaya Lampu Dimmer	Pembacaan Sensor (Lux)			Validator (Lux)			Rata-rata Pembacaan Sensor	Rata-rata Validator	% Error
	L1	L2	L3	L1	L2	L3			
10%	30	30	30	31	31	31	30	31	3,23
20%	53,7	53,9	54	54	54	54	53,9	54	0,25
30%	76,7	76,8	76,8	77	77	77	76,8	77	0,30
40%	99	99	99	100	100	100	99,0	100	1,00
50%	119,9	119,8	119,9	120,7	120,6	120,6	119,9	120,6	0,64
60%	140,1	140	140,1	141,2	141,2	141,1	140,1	141,2	0,78
70%	160	160	159,8	161,5	161,5	161,3	159,9	161,4	0,93
80%	178,4	178,3	178,5	179,8	179,7	180	178,4	179,8	0,80
90%	195,6	195,6	195,5	197,3	197,2	197,1	195,6	197,2	0,83
100%	209,6	209,2	208,9	211,7	211,6	211,4	209,2	211,6	1,10
<b>Rata-rata % Error</b>									<b>0,98</b>
<b>Akurasi</b>									<b>99,02</b>

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.1, intensitas cahaya yang diatur melalui variabel *dimmer* lampu menghasilkan perubahan nilai lux yang terbaca baik oleh sensor

TCS34725 maupun validator (Lux Meter). Masing-masing tingkatan persentase pada dimmer berkorelasi secara langsung dengan peningkatan nilai lux. Pada intensitas cahaya sebesar 10%, nilai yang terbaca oleh validator adalah sekitar 31 lux, sedangkan nilai yang tercatat oleh sensor TCS34725 adalah rata-rata 30 lux. Ketika intensitas dinaikkan menjadi 20%, validator menunjukkan 54 lux, dengan pembacaan sensor mendekati nilai tersebut, yakni sekitar 53,9 lux. Hal ini terus berlanjut secara konsisten hingga intensitas 100%, di mana validator mencatat nilai 211,6 lux, sedangkan sensor mencatat rata-rata 209,2 lux. Berikut merupakan grafik perbandingan antara sensor TCS34725 dengan alat ukur Lux Meter.



**Gambar 4.1** Grafik Perbandingan Sensor TCS34725 dan Validator

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa nilai sensor TCS34725 pada garis berwarna hitam dan mendekati garis berwarna merah yang merupakan validator intensitas cahaya. Beberapa nilai karakteristik statik dari hasil pengujian sensor TCS34725 terhadap intensitas cahaya lampu adalah sebagai berikut:

- 1) Akurasi = 99,02%
- 2) Presisi = 0,793
- 3) Linieritas = 0,9996

Berdasarkan hasil pengujian sensor TCS34735 terhadap intensitas cahaya lampu yang ditampilkan dalam grafik pada Gambar 4.1, beberapa karakteristik statik sensor ini dapat diketahui bahwa sensor TCS34725 menunjukkan akurasi sebesar 99,02% yang berarti sensor ini mampu mengukur intensitas cahaya dengan sangat baik dan mendekati nilai sebenarnya. Akurasi ini mengindikasikan bahwa selisih antara hasil pengukuran sensor dengan nilai referensi cahaya yang digunakan sebagai validator hanya sekitar 0,98%. Dengan akurasi yang tinggi, sensor ini dapat diandalkan untuk aplikasi yang memerlukan tingkat ketelitian yang baik. Selain itu, nilai presisi sensor menunjukkan nilai sebesar 0,793 yang menunjukkan bahwa sebaran data pengukuran terhadap nilai rata-rata sangat kecil. Dengan demikian, sensor memiliki kemampuan yang andal dalam

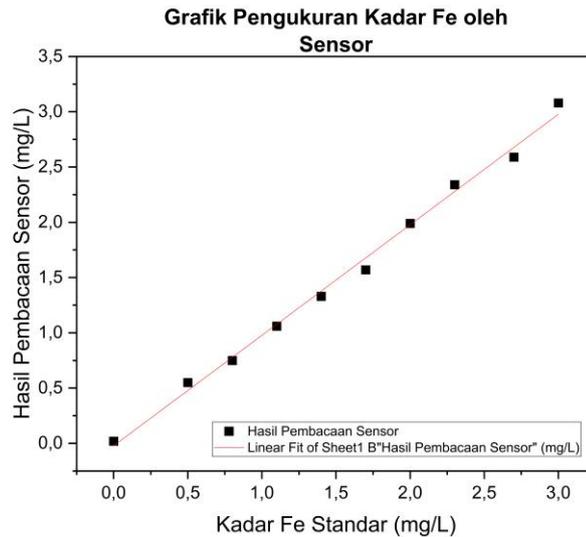
mempertahankan konsistensi hasil pengukuran meskipun dilakukan dalam kondisi yang sama secara berulang-ulang. Dari segi linieritas, sensor TCS34725 memiliki nilai sebesar 0,9996, yang mendekati angka sempurna (1). Hal Ini menandakan bahwa respon sensor terhadap perubahan intensitas cahaya bersifat sangat linier dan sensor mampu menghasilkan keluaran yang proporsional terhadap perubahan cahaya yang diukur. Secara keseluruhan, karakteristik statik yang telah diperoleh ini menunjukkan bahwa sensor TCS34725 memiliki kinerja yang sangat baik, dengan akurasi dan linieritas tinggi serta presisi yang memadai untuk pengukuran intensitas cahaya.

Tabel 4.2 hingga Tabel 4.3 digunakan untuk mendokumentasikan hasil pengukuran sensor dalam mendeteksi konsentrasi zat besi (Fe) dan mangan (Mn) pada berbagai kadar. Tabel-tabel ini diperlukan untuk menguji karakteristik sensor, khususnya terkait linieritas, akurasi, dan presisi. Tabel 4.2 dan 4.3 mencatat pengukuran langsung kadar Fe dan Mn yang dilakukan oleh sensor, dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap konsentrasi yang diketahui. Tujuan dari tabel-tabel ini adalah untuk mencatat akurasi dan presisi sensor dalam mendeteksi kadar zat, serta melihat konsistensi hasil pengukuran melalui pengulangan percobaan hingga 10 kali.

Tabel 4.2 dan 4.3 merupakan tabel untuk pengujian karakteristik statik linieritas sensor terhadap kadar Fe dan Mn.

**Tabel 4.2** Pengukuran Kadar Fe menggunakan Sensor

Kadar Fe (mg/L)	Pengukuran Kadar Fe Sensor (mg/L)										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.0	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
0.5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,55
0.8	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
1.1	1,15	1,15	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,06
1.4	1,31	1,32	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,35	1,35	1,35	1,33
1.7	1,56	1,56	1,57	1,56	1,57	1,56	1,56	1,57	1,57	1,57	1,57
2.0	1,98	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99
2.3	2,34	2,34	2,34	2,34	2,35	2,34	2,34	2,35	2,35	2,35	2,34
2.7	2,59	2,59	2,59	2,58	2,59	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,59
3.0	3,07	3,08	3,08	3,08	3,07	3,07	3,07	3,08	3,08	3,08	3,08

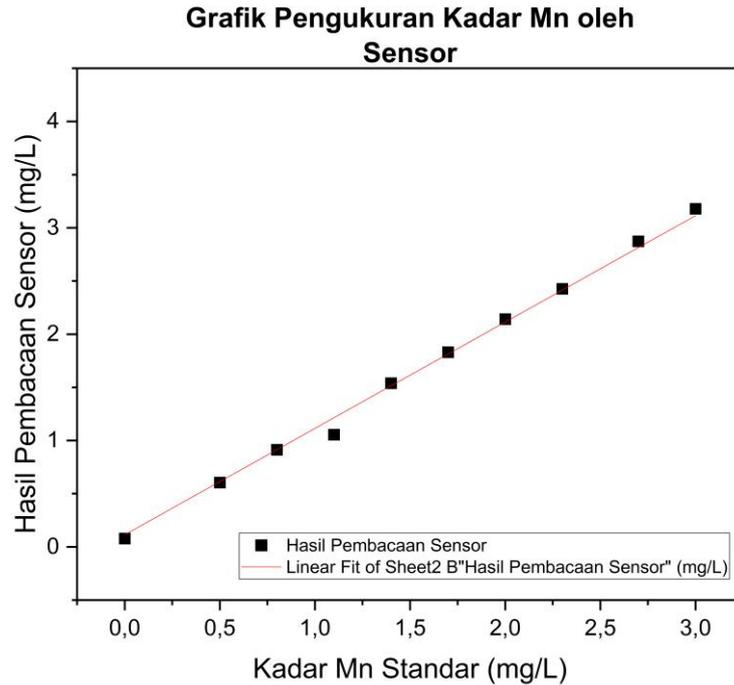


**Gambar 4.2** Grafik Pengukuran Kadar Fe Oleh Sensor

Pada Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan antara kadar Fe dan hasil pembacaan sensor untuk kadar Fe. Pola garis menggunakan regresi linier dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,995 yang menunjukkan bahwa variasi pembacaan sensor linier dengan perubahan kadar Fe. Nilai presisi sebesar 0,922 menandakan bahwa pembacaan sensor konsisten terhadap pengulangan pengukuran. Sementara itu, akurasi sebesar 95,65% dan persentase error sebesar 4,35% menggambarkan bahwa hasil sensor cukup mendekati nilai rujukan pada rentang konsentrasi 0 hingga 3 mg/L.

**Tabel 4.3** Pengukuran Kadar Mn menggunakan Sensor

Kadar Mn (mg/L)	Pengukuran Kadar Mn Sensor (mg/L)										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,079
0,5	0,61	0,61	0,61	0,61	0,6	0,6	0,6	0,61	0,6	0,61	0,606
0,8	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,93	0,93	0,91	0,91	0,914
1,1	1,05	1,08	1,08	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,056
1,4	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,58	1,58	1,54
1,7	1,84	1,84	1,84	1,84	1,81	1,81	1,81	1,84	1,84	1,84	1,831
2	2,17	2,17	2,17	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,142
2,3	2,42	2,45	2,45	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,426
2,7	2,88	2,88	2,88	2,88	2,85	2,85	2,88	2,88	2,88	2,88	2,874
3	3,2	3,1	3,25	3,19	3,15	3,21	3,21	3,19	3,17	3,13	3,18



**Gambar 4.3** Grafik Pengukuran Kadar Mn Oleh Sensor

Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan antara kadar Mn dan hasil pembacaan sensor untuk kadar Mn. Pola garis diperoleh melalui regresi linier dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,996 yang menunjukkan bahwa perubahan nilai pembacaan sensor sebanding dengan variasi kadar Mn. Nilai presisi sebesar 0,998 menunjukkan konsistensi pengukuran terhadap pengulangan pengukuran. Akurasi pengukuran sebesar 82,61% sedangkan persentase *error* relatif mencapai 17,39%. Berdasarkan parameter tersebut, sensor menunjukkan kinerja yang stabil dan dapat digunakan untuk mendeteksi konsentrasi Mn dalam rentang 0 hingga 3 mg/L.

Berikut ini beberapa karakteristik statik dari hasil pengujian sensor TCS34725 terhadap Kadar Fe dan Mn.

Parameter Fe

1. Persentase *Error* = 4,35%
2. Akurasi = 95,65%
3. Presisi = 0,922
4. Linieritas = 0.9948

Parameter Mn

1. Persentase *Error* = 17,39%
2. Akurasi = 82,61%
3. Presisi = 0,998
4. Linieritas = 0,996

#### 4.1.2 Pengujian Panjang Gelombang LED

Pengujian panjang gelombang LED bertujuan untuk memastikan bahwa LED yang digunakan dalam alat ukur memiliki karakteristik spektral yang sesuai dengan panjang gelombang yang dibutuhkan dalam pengukuran kadar besi (Fe) dan mangan (Mn). LED

sebagai sumber cahaya memiliki peran penting dalam spektrofotometri, di mana cahaya pada panjang gelombang tertentu diteruskan melalui sampel dan intensitas cahayanya diukur untuk menentukan konsentrasi zat yang terkandung di dalamnya.

Panjang gelombang yang digunakan dalam pengukuran kadar Fe dan Mn adalah 510 nm untuk Fe dan 525 nm untuk Mn. Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak spektrometer seperti Theremino Spectrometer yang mampu menangkap dan menganalisis spektrum cahaya yang dipancarkan oleh LED. Spektrum ini kemudian diolah untuk mendapatkan data berupa intensitas cahaya pada berbagai panjang gelombang, yang ditampilkan dalam bentuk grafik spektrum.

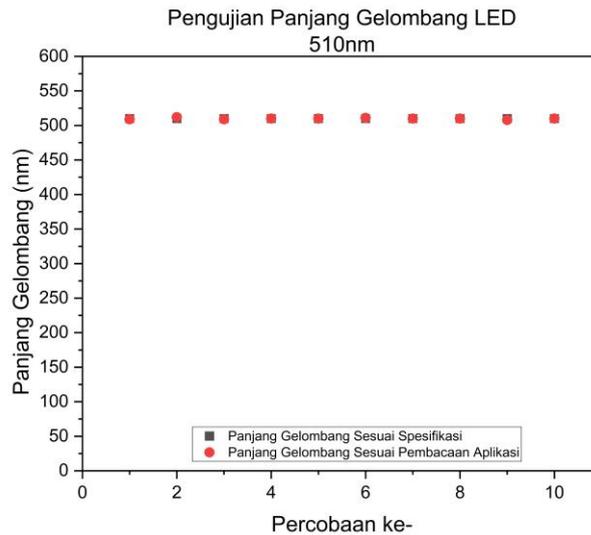
Proses pengujian diawali dengan menempatkan LED di depan kamera yang terhubung dengan spektrometer. Pengambilan data spektrum dilakukan untuk mengidentifikasi panjang gelombang puncak (*peak*) dari LED tersebut, yang mencerminkan panjang gelombang dominan yang dipancarkan oleh LED. Setiap pengambilan data dilakukan selama 10 detik untuk memastikan kestabilan sinyal dan keakuratan hasil. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan spesifikasi panjang gelombang yang tercantum dalam datasheet LED, guna memastikan bahwa LED berfungsi sesuai dengan karakteristik yang diharapkan.

Tabel 4.4 menyajikan hasil pengujian panjang gelombang dari LED yang memiliki spesifikasi panjang gelombang sebesar 510 nm, menggunakan aplikasi Theremino Spectrometer. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dengan interval waktu pengambilan data yang sama, yaitu 10 detik untuk setiap percobaan.

**Tabel 4.4** Pengujian LED Panjang Gelombang 510nm

Percobaan ke-	Panjang Gelombang Sesuai Spesifikasi (nm)	Panjang Gelombang Sesuai Pembacaan Aplikasi (nm)
1	510	509
2		512
3		509
4		510
5		510
6		511
7		510
8		510
9		508
10		510
<b>Rata-rata</b>		509,9

Dari hasil pengujian Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa rata-rata pembacaan panjang gelombang LED oleh aplikasi yaitu sebesar 509,9 nm yang menunjukkan bahwa LED yang digunakan sudah sesuai spesifikasi pembelian.



**Gambar 4.4** Grafik Hasil Pengujian Panjang Gelombang 510nm

Berdasarkan Gambar 4.4 grafik pengujian panjang gelombang LED 510 nm di atas, terdapat dua indikator yang ditampilkan, yaitu panjang gelombang sesuai spesifikasi dan panjang gelombang hasil pembacaan aplikasi. Panjang gelombang sesuai spesifikasi, yang digambarkan dengan kotak hitam, menunjukkan nilai tetap pada 510 nm, yang merupakan nilai panjang gelombang yang seharusnya dihasilkan oleh LED tersebut. Di sisi lain, hasil pembacaan aplikasi, yang ditunjukkan oleh titik merah, memperlihatkan variasi hasil pengukuran di setiap percobaan. Panjang gelombang yang diukur bervariasi antara 508 nm hingga 511 nm, dengan beberapa percobaan menunjukkan nilai yang mendekati spesifikasi 510 nm, sementara yang lain sedikit di bawah atau di atasnya. Meskipun terjadi variasi kecil dalam pengukuran, secara keseluruhan hasil pembacaan aplikasi masih cukup dekat dengan panjang gelombang yang diharapkan sesuai spesifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat sedikit fluktuasi, performa LED secara keseluruhan masih sesuai dengan standar yang diinginkan.

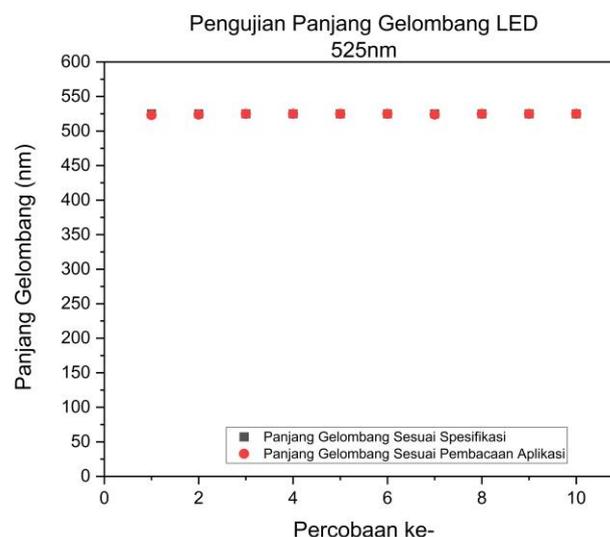
**Tabel 4.5** berikut menyajikan hasil pengukuran panjang gelombang dari LED yang memiliki spesifikasi panjang gelombang sebesar 525 nm berdasarkan pembacaan aplikasi spektrometer.

**Tabel 4.5** Pengujian LED Panjang Gelombang 525nm

Percobaan ke-	Panjang Gelombang Sesuai Spesifikasi	Panjang Gelombang Sesuai Pembacaan Aplikasi
1	525	523
2		524
3		525
4		525
5		525

Percobaan ke-	Panjang Gelombang Sesuai Spesifikasi	Panjang Gelombang Sesuai Pembacaan Aplikasi
6		525
7		524
8		525
9		525
10		525
	Rata-rata	524,6

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada Tabel 4.5 selama sepuluh kali percobaan, nilai rata-rata panjang gelombang sesuai pembacaan aplikasi adalah 524,6 nm, yang mendekati nilai panjang gelombang spesifikasi sebesar 525 nm. Secara ilmiah, ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran aplikasi cukup konsisten dengan spesifikasi, meskipun terdapat sedikit perbedaan atau variasi dalam setiap percobaan. Variasi kecil ini bisa disebabkan oleh faktor-faktor seperti kondisi lingkungan, akurasi alat pengukur, atau fluktuasi karakteristik emisi LED itu sendiri. Namun, secara keseluruhan, perbedaan tersebut tidak signifikan dan masih dalam batas toleransi yang dapat diterima. Kesimpulannya, LED yang diuji menunjukkan kinerja yang baik dengan hasil pengukuran panjang gelombang yang sangat mendekati spesifikasinya, dengan penyimpangan yang sangat kecil pada beberapa percobaan awal.



**Gambar 4.5** Grafik Hasil Pengujian Panjang Gelombang 525nm

Berdasarkan Tabel 4.5, diperoleh grafik sesuai dengan Gambar 4.5. Grafik pada Gambar 4.5 di atas menunjukkan hasil pengujian panjang gelombang LED dengan spesifikasi 525 nm yang diukur dalam sepuluh percobaan. Terdapat dua indikator pada grafik ini, yaitu panjang gelombang sesuai spesifikasi (ditandai dengan kotak hitam) dan panjang gelombang sesuai pembacaan aplikasi (ditandai dengan titik merah). Hasil pengujian menunjukkan bahwa panjang gelombang sesuai spesifikasi tetap stabil pada 525 nm di seluruh percobaan. Sementara itu, pembacaan aplikasi menunjukkan sedikit variasi, dengan hasil pengukuran berkisar antara 523 nm hingga 525 nm. Pada

percobaan pertama dan keenam, hasil pengukuran berada di sekitar 523 nm, sedikit lebih rendah dari spesifikasi, sedangkan pada percobaan lainnya, panjang gelombang mendekati nilai spesifikasi. Variasi kecil ini mungkin disebabkan oleh faktor seperti ketidakstabilan alat pengukur, kondisi lingkungan, atau fluktuasi temperatur. Namun, secara keseluruhan, hasil pengukuran aplikasi cukup mendekati spesifikasi, dan perbedaan yang terjadi masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Hal ini menunjukkan bahwa LED yang diuji memiliki performa yang stabil dan konsisten sesuai dengan panjang gelombang yang diharapkan.

Pengujian LED sangat penting untuk menjamin akurasi alat ukur karena panjang gelombang yang salah dapat menyebabkan kesalahan dalam pengukuran konsentrasi Fe dan Mn. Jika LED memancarkan cahaya di luar panjang gelombang yang diharapkan, maka hasil absorbansi yang diukur oleh sensor fotodioda TCS34725 akan tidak sesuai, mengakibatkan perhitungan konsentrasi logam yang tidak akurat.

#### 4.2 Pengujian Karakteristik Alat Ukur Setelah Terintegrasi

Pengujian karakteristik alat ukur dilakukan setelah sistem sepenuhnya terintegrasi untuk mengetahui sejauh mana alat mampu merespons variasi konsentrasi ion logam dalam larutan. Salah satu metode yang digunakan dalam pengujian adalah pengukuran transmitansi dan absorbansi terhadap larutan uji yang mengandung ion Fe dan Mn pada berbagai tingkat konsentrasi. Pengukuran transmitansi dan absorbansi penting karena berkaitan langsung dengan prinsip dasar Hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa nilai absorbansi suatu larutan sebanding dengan konsentrasi zat terlarut di dalamnya. Dengan kata lain, semakin tinggi konsentrasi suatu zat, maka semakin besar cahaya yang diserap atau absorbansi meningkat dan semakin sedikit cahaya yang diteruskan atau transmitansi menurun.

Melalui pengujian ini, diperoleh gambaran tentang performa alat ukur dalam mendeteksi perubahan intensitas cahaya akibat adanya variasi konsentrasi ion logam. Data hasil pengukuran transmitansi dan absorbansi untuk larutan Fe disajikan dalam Tabel 4.6, sementara data untuk larutan Mn ditampilkan dalam Tabel 4.7.

**Tabel 4.6** Pengukuran Transmitansi dan Absorbansi Fe

Kadar Fe (mg/L)	%T	A
0.0	100	0.000
0.5	97	0.00996
0.8	88	0.05420
1.1	87	0.05816
1.4	85	0.07297
1.7	84	0.07366
2.0	77	0.11464
2.3	72	0.14267
2.7	70	0.15822
3.0	65	0.18221

Pada Tabel 4.6 data menunjukkan bahwa pada kadar Fe 0 mg/L, nilai transmitansi (%T) tercatat sebesar 100%, yang sesuai dengan kondisi di mana tidak terdapat ion Fe dalam larutan sehingga tidak terjadi penyerapan cahaya. Seiring dengan meningkatnya konsentrasi Fe dalam larutan, nilai transmitansi cenderung mengalami penurunan. Sebagai contoh, pada konsentrasi 0.5 mg/L, %T turun menjadi 97%, dan pada konsentrasi 0.8 mg/L, %T menurun lebih jauh menjadi 88%. Penurunan transmitansi ini menunjukkan semakin besarnya penyerapan cahaya oleh larutan ketika konsentrasi Fe meningkat.

Absorbansi (A) pada Tabel 4.6 juga menunjukkan pola yang sejalan dengan hukum Lambert-Beer, yaitu meningkat secara konsisten seiring bertambahnya konsentrasi Fe. Absorbansi pada konsentrasi 0.5 mg/L tercatat sebesar 0.00996, lalu meningkat menjadi 0.05420 pada konsentrasi 0.8 mg/L, dan terus meningkat hingga mencapai 0.18221 pada konsentrasi 3.0 mg/L. Pola kenaikan absorbansi yang cenderung linier ini menunjukkan bahwa sensor dapat membaca variasi konsentrasi Fe dengan baik pada rentang uji coba yang dilakukan, meskipun pada konsentrasi menengah seperti 1.1 – 1.7 mg/L terdapat fluktuasi kecil.

**Tabel 4.7** Pengukuran Transmitansi dan Absorbansi Mn

Kadar Mn (mg/L)	%T	A
0.0	100	0.000
0.5	95	0.0236
0.8	88	0.0532
1.1	86	0.0662
1.4	82	0.0844
1.7	76	0.1171
2.0	74	0.1330
2.3	67	0.1561
2.7	65	0.1855
3.0	60	0.2218

Pada Tabel 4.7, pengukuran transmitansi dan absorbansi larutan Mn juga menunjukkan pola serupa. Pada kadar Mn 0 mg/L, %T tercatat 100% dan absorbansi 0.000 yang menandakan tidak adanya penyerapan cahaya oleh larutan. Seiring meningkatnya konsentrasi Mn, %T mengalami penurunan signifikan. Sebagai contoh, pada konsentrasi 0.5 mg/L, %T turun menjadi 95% dengan absorbansi 0.0236, sedangkan pada konsentrasi 0.8 mg/L, %T turun menjadi 88% dengan absorbansi 0.0532. Penurunan transmitansi ini juga menegaskan bahwa larutan Mn menyerap cahaya lebih banyak seiring peningkatan konsentrasi.

Nilai absorbansi Mn mengalami peningkatan yang cukup konsisten dari 0.0236 pada 0.5 mg/L hingga mencapai 0.2218 pada konsentrasi 3.0 mg/L. Data ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan konsentrasi Mn pada seluruh rentang uji dengan baik.

Secara umum, hasil pengukuran pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 menunjukkan bahwa baik larutan Fe maupun Mn memiliki pola penurunan transmitansi dan peningkatan

absorbansi yang sesuai dengan teori. Perbedaan nilai absorbansi antara Fe dan Mn ini juga menunjukkan bahwa setiap ion logam memiliki karakteristik penyerapan cahaya yang berbeda.

#### 4.3 Pengujian Efektivitas Sistem Filtrasi dan Analisis Data Pengujian Laboratorium Eksternal

Tabel 4.11 di bawah ini menyajikan data hasil pengujian sistem filtrasi dengan empat variasi rasio bahan filtrasi, yaitu silika, zeolit, dan karbon aktif. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja setiap rasio dalam menurunkan kadar Fe (besi) dan Mn (mangan) dari larutan uji. Penurunan kadar logam berat ini menjadi indikator utama keberhasilan proses filtrasi dalam pengolahan air. Rasio bahan filtrasi digunakan untuk mengetahui pengaruh perbandingan bahan filtrasi terhadap kemampuan sistem dalam menyaring kontaminan logam. Data kadar Fe dan Mn sebelum dan sesudah filtrasi menunjukkan seberapa besar kemampuan sistem dalam mengurangi konsentrasi logam tersebut, yang selanjutnya dihitung dalam bentuk efektivitas penurunan (%). Efektivitas ini penting untuk mengetahui efisiensi setiap rasio bahan filtrasi dan untuk memilih rasio yang paling optimal dalam proses penghilangan logam.

**Tabel 4.8** Efektivitas Penurunan Kadar Fe dan Mn pada Berbagai Rasio Bahan Filtrasi

Rasio Bahan Filtrasi (Si : Ze : KA)*	Kadar Fe (mg/L)	Kadar Fe (mg/L)	Efektivitas Penurunan Fe (%)	Kadar Mn (mg/L)		Efektivitas Penurunan Mn (%)	Total Efektivitas Penurunan (%)
	Sebelum Filtrasi	Sesudah Filtrasi		Sebelum Filtrasi	Sesudah Filtrasi		
0,45:0,33:0,22	0,05	0,00	93,88	3,18	0,01	99,72	96,80
0,85:0,13:0,02	0,05	0,01	71,435	3,18	0,61	80,83	76,13
0,25:0,73:0,02	0,05	0,01	73,47	3,18	0,81	74,50	73,99
0,25:0,13:0,62	0,05	0,03	32,65	3,18	1,13	64,55	48,60

\* Keterangan: Si = Silika, Ze = Zeolit, KA = Karbon Aktif

Hasil pengujian laboratorium eksternal pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa rasio 45% silika, 33% zeolit, dan 22% karbon aktif memiliki efektivitas penurunan kadar Fe dan Mn tertinggi dibandingkan rasio lainnya. Pada rasio ini, kadar Fe menurun dari 0,049 mg/L menjadi 0,003 mg/L, dengan efektivitas penurunan 93,88%. Untuk Mn, kadar awal sebesar 3,184 mg/L turun menjadi 0,009 mg/L, dengan efektivitas penurunan 99,72%. Efektivitas total penurunan pada rasio ini tercatat sebesar 96,80%, menandakan rasio ini optimal dalam proses adsorpsi dan filtrasi logam berat.

Rasio 85% silika, 13% zeolit, dan 2% karbon aktif menghasilkan efektivitas penurunan Fe sebesar 71,43% dan Mn sebesar 80,83%, dengan total efektivitas 76,13%. Rasio ini menunjukkan bahwa dominasi silika dengan karbon aktif sangat rendah belum mampu menurunkan kadar logam secara maksimal.

Pada rasio 25% silika, 73% zeolit, dan 2% karbon aktif, efektivitas penurunan Fe dan Mn masing-masing adalah 73,47% dan 74,50%, dengan total efektivitas 73,99%. Hal

ini menunjukkan peran zeolit yang cukup dominan sebagai media penukar ion Mn, meskipun masih kalah dibandingkan rasio pertama.

Rasio 25% silika, 13% zeolit, dan 62% karbon aktif memiliki efektivitas penurunan terendah, yaitu 32,65% untuk Fe dan 64,55% untuk Mn, dengan total efektivitas 48,60%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan karbon aktif hingga lebih dari 60% tidak efektif dalam proses penurunan konsentrasi logam berat pada kondisi uji ini, karena sifat adsorpsi karbon aktif lebih optimal untuk senyawa organik dibandingkan logam berat.

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa rasio 45% silika, 33% zeolit, dan 22% karbon aktif merupakan komposisi bahan filtrasi yang paling efektif dalam menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dari sampel yang diuji, dengan total efektivitas penurunan mencapai 96,80%. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi media filtrasi dengan perbandingan yang seimbang mampu memaksimalkan kinerja sistem filtrasi. Pada rasio bahan filtrasi, silika berperan sebagai media penyaring awal untuk menahan kotoran dan partikel besar, zeolit berfungsi sebagai media penukar ion yang mampu menangkap ion logam berat seperti  $Fe^{2+}$  dan  $Mn^{2+}$  dengan baik, sedangkan karbon aktif bertugas membantu menyerap sisa logam terlarut serta menghilangkan bau atau zat organik yang masih ada di dalam air.

Komposisi yang seimbang tersebut membuat setiap bahan filtrasi dapat bekerja sesuai fungsinya tanpa ada yang mendominasi atau kekurangan, sehingga proses penyaringan berjalan lebih optimal. Apabila komposisi tidak seimbang, efektivitas penurunan logam berat cenderung menurun karena salah satu media tidak bekerja maksimal. Misalnya, jika kandungan karbon aktif terlalu tinggi, kemampuan sistem untuk menyaring logam berat akan menurun karena karbon aktif lebih efektif menyerap senyawa organik dibanding logam berat. Jika kandungan silika terlalu tinggi, sistem hanya akan menyaring partikel padat tanpa mampu menurunkan ion logam terlarut secara signifikan. Sebaliknya, jika kandungan zeolit terlalu mendominasi, penyaringan partikel padat akan kurang optimal karena fungsi zeolit hanya berfokus pada pertukaran ion, sehingga air mungkin masih mengandung kekeruhan atau endapan.

#### **4.4 Perbandingan Hasil Uji Laboratorium dan Pembacaan Alat Ukur terhadap Air Hasil Filtrasi**

Pengujian akurasi dan keandalan alat ukur dilakukan melalui perbandingan hasil pembacaan alat terhadap data uji laboratorium pada sampel air hasil filtrasi. Sampel yang digunakan berasal dari proses filtrasi dengan rasio media tertentu dan sebelumnya telah diuji kandungan ion Fe dan Mn-nya di laboratorium. Hasil pembacaan alat kemudian dibandingkan dengan hasil laboratorium sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.10. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk menilai sejauh mana alat mampu memberikan hasil yang sesuai dengan standar laboratorium, serta mengidentifikasi potensi alat sebagai alternatif monitoring kualitas air secara langsung di lapangan.

**Tabel 4.9** Perbandingan Kadar Fe Hasil Uji Laboratorium dan Pembacaan Alat Ukur terhadap Air Hasil Filtrasi

Rasio Bahan Filtrasi (Si : Ze : KA)*	Kadar Fe (mg/L)		Error (%)
	Hasil Uji Lab	Hasil Ukur Alat	
0,45:0,33:0,22	0,00	0,18	17
0,85:0,13:0,02	0,01	0,25	24
Rata-rata <i>Error</i>			20,5
Akurasi			79,5

Hasil perbandingan antara pembacaan alat ukur dan uji laboratorium terhadap sampel air hasil filtrasi yang ditampilkan pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa alat ukur memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi konsentrasi ion besi (Fe), dengan rata-rata galat (*error*) sebesar 20,5% dan tingkat akurasi 79,5%. Perbedaan nilai antara hasil laboratorium dan alat kemungkinan besar disebabkan oleh batas sensitivitas minimum alat ukur terhadap konsentrasi yang sangat rendah (mendekati nol), seperti pada sampel rasio 0,45:0,33:0,22 di mana kadar Fe menurut uji laboratorium adalah 0,00 mg/L, namun alat masih membaca sebesar 0,18 mg/L. Hal ini dapat menandakan adanya *noise* pencahayaan, deviasi pembacaan sensor, atau keterbatasan resolusi alat dalam mendeteksi kadar yang sangat kecil.

**Tabel 4.10** Perbandingan Kadar Mn Hasil Uji Laboratorium dan Pembacaan Alat Ukur terhadap Air Hasil Filtrasi

Rasio Bahan Filtrasi (Si : Ze : KA)*	Kadar Mn (mg/L)		Error (%)
	Hasil Uji Lab	Hasil Ukur Alat	
0,45:0,33:0,22	0,01	0,02	100
0,85:0,13:0,02	0,61	0,57	6,56
Rata-rata <i>Error</i>			53,28
Akurasi			46,72

Sebaliknya, pada pengukuran kadar Mn yang ditampilkan pada Tabel 4.10 di atas, alat menunjukkan tingkat akurasi yang lebih rendah dengan rata-rata *error* sebesar 53,28% dan akurasi hanya mencapai 46,72%. *Error* terbesar terjadi pada sampel dengan rasio 0,45:0,33:0,22, di mana hasil uji laboratorium menunjukkan kadar Mn sebesar 0,01 mg/L, sementara alat mencatat nilai 0,02 mg/L. Kondisi ini serupa dengan pengukuran kadar Fe yang sangat rendah, di mana alat cenderung menunjukkan angka yang lebih tinggi dari nilai sebenarnya karena keterbatasan dalam mendeteksi konsentrasi yang sangat kecil.

Selain itu, tingginya tingkat *error* juga dapat disebabkan oleh adanya endapan atau partikel tersuspensi dalam sampel air, terutama pada rasio media filtrasi tertentu. Endapan

tersebut dapat mengganggu lintasan cahaya dalam sistem optik alat ukur, sehingga mengakibatkan pembacaan nilai absorbansi atau transmitansi yang tidak akurat. Karena sistem pembacaan alat bergantung pada intensitas cahaya yang diteruskan atau diserap oleh larutan, kekeruhan atau partikel mikro yang tidak sepenuhnya tersaring dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Hal ini menjelaskan mengapa alat mengalami kesulitan dalam memberikan pembacaan yang presisi terhadap kadar Mn, terutama saat konsentrasi sangat rendah atau saat air belum sepenuhnya jernih setelah proses filtrasi.

**Tabel 4.11** Hasil Pengukuran Kadar Menggunakan Alat Ukur

<b>Rasio Bahan Filtrasi (Si : Ze : KA)*</b>	<b>Kadar Fe (mg/L)</b>	<b>Kadar Mn (mg/L)</b>
	<b>Hasil Ukur Alat</b>	<b>Hasil Ukur Alat</b>
0,55:0,28:0,17	0	0,2
0,30:0,63:0,7	0,09	1,04
0,30:0,18:0,52	0,10	1,12

Tabel 4.11 menyajikan hasil pengukuran konsentrasi ion besi (Fe) dan mangan (Mn) dari sampel air hasil filtrasi yang belum diuji secara laboratorium, melainkan diukur langsung menggunakan alat optik berbasis absorbansi. Sampel air tersebut difiltrasi menggunakan variasi rasio bahan media, yaitu pasir silika (Si), zeolit (Ze), dan karbon aktif (KA) dalam tiga komposisi berbeda.

Pada rasio 0,55:0,28:0,17, kadar Fe terdeteksi nol, sedangkan kadar Mn tercatat sebesar 0,20 mg/L. Sebaliknya, pada rasio 0,30:0,63:0,07, kadar Fe meningkat menjadi 0,09 mg/L dan Mn menjadi 1,04 mg/L, sedangkan pada rasio 0,30:0,18:0,52, kadar Fe sedikit lebih tinggi sebesar 0,10 mg/L dengan Mn mencapai 1,12 mg/L.

Perbedaan hasil ini mengindikasikan bahwa komposisi media filtrasi sangat mempengaruhi kemampuan penyisihan ion logam, di mana rasio dengan dominasi pasir silika memberikan kinerja lebih baik dalam menurunkan kandungan Fe dan Mn dibandingkan rasio dengan dominasi zeolit atau karbon aktif. Efektivitas tertinggi ditunjukkan oleh rasio 0,55:0,28:0,17, yang diduga memiliki keseimbangan adsorpsi dan penyaringan yang lebih optimal antar ketiga jenis media.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari Proyek Akhir dengan judul RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR BESI (FE) DAN MANGAN (MN) MENGGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI PADA SISTEM FILTRASI AIR adalah sebagai berikut:

1. Sistem monitoring kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) berbasis metode spektrofotometri berhasil dirancang menggunakan LED dengan panjang gelombang 510 nm untuk Fe dan 525 nm untuk Mn serta sensor TCS34725.
2. Pengujian Parameter Fe menunjukkan bahwa sistem memiliki persentase error sebesar 4,35%, yang berarti sistem memiliki akurasi sebesar 95,65% dalam mendeteksi kadar Fe. Nilai presisi alat sebesar 0,922 menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki konsistensi yang baik antar pengulangan. Selain itu, nilai linieritas sebesar 0,9948 menunjukkan hubungan yang linier antara kadar Fe aktual dengan hasil pembacaan sensor. Sedangkan pada pengujian kadar Mn menunjukkan performa yang juga baik, dengan persentase error sebesar 17,39% dan akurasi sebesar 82,61%. Nilai presisi sebesar 0,998 menunjukkan bahwa sensor memiliki kestabilan hasil pengukuran yang sangat tinggi pada setiap pengulangan. Selain itu, nilai linieritas sebesar 0,996 menunjukkan hubungan yang sangat linier antara konsentrasi Mn dengan hasil pembacaan sensor.
3. Berdasarkan pengujian sistem filtrasi, rasio bahan filtrasi 45% silika, 33% zeolit, dan 22% karbon aktif menunjukkan efektivitas penurunan kadar Fe dan Mn tertinggi dibandingkan rasio lainnya, dengan efektivitas penurunan Fe sebesar 93,88% dan Mn sebesar 99,72%, sehingga total efektivitas penurunan mencapai 96,80%.

### 5.2 Saran

Saran dari Proyek Akhir dengan judul RANCANG BANGUN ALAT UKUR KADAR BESI (FE) DAN MANGAN (MN) MENGGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI PADA SISTEM FILTRASI AIR adalah sebagai berikut:

1. Dikarenakan pengujian menunjukkan bahwa akurasi pengukuran Mn masih berada pada angka 82,61%, maka disarankan untuk mempertimbangkan penggunaan sensor fotodiode atau detektor cahaya dengan sensitivitas yang lebih tinggi agar dapat meningkatkan akurasi dan presisi pengukuran pada konsentrasi rendah.
2. Disarankan untuk menambahkan integrasi sistem kontrol otomatis *backwash* dan monitoring filtrasi *real-time* untuk meningkatkan operasional dan keandalan sistem filtrasi air.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

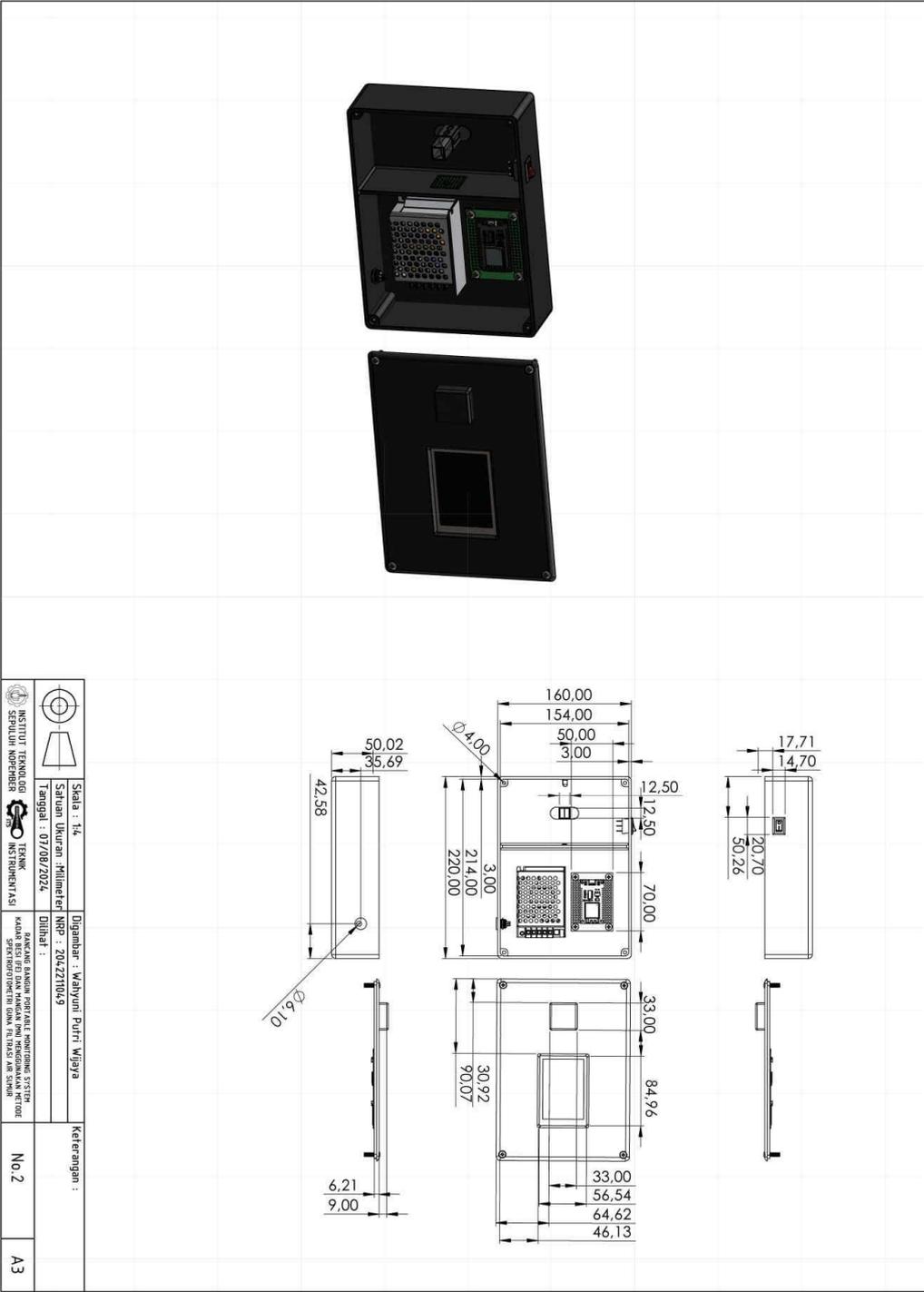
- Al Kholif, M., Sugito, S., Pungut, P., & Sutrisno, J. (2020). Kombinasi Tray Aerator Dan Filtrasi Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 14(1), 28. <https://doi.org/10.24843/ejes.2020.v14.i01.p03>
- Arifah, H. A. (2018). Perbedaan Kadar Total Protein Berdasarkan Frekuensi Penggunaan Kuvet Plastik. *Doctoral Dissertation*, 7–8.
- Bastan, N., Ahmadi, M., Madrakian, T., Afkhami, A., Khalili, S., Majidi, M., & Moradi, M. (2023). A paired emitter–detector diode-based photometer for the determination of sodium hypochlorite adulteration in milk. *Scientific Reports*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33527-y>
- Buzanovskii, V. A. (2010). Generalized block diagram for measurement systems based on direct measurements. *Measurement Techniques*, 53(3), 247–250. <https://doi.org/10.1007/s11018-010-9490-1>
- Carpentieri, M. A., Fano, G., & Jurinovich, S. (2023). *education sciences Introduction to Light Properties and Basic Principles of Spectroscopy at the High-School Level : A Pilot Study*.
- Chakraborty, M., & Kundan, A. P. (2021). Monitoring Cloud-Native Applications: Lead Agile Operations Confidently Using Open Source Software. In *Monitoring Cloud-Native Applications: Lead Agile Operations Confidently Using Open Source Software*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6888-9>
- Cheddadi, Y., Cheddadi, H., Cheddadi, F., Errahimi, F., & Es-sbai, N. (2020). Design and implementation of an intelligent low-cost IoT solution for energy monitoring of photovoltaic stations. *SN Applied Sciences*, 2(7), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2997-4>
- Cowan, A. M. (2023). *Visible Light*. Education.Nationalgeographic.Org. <https://education.nationalgeographic.org/resource/visible-light/>
- Dash, H. R., Shrivastava, P., & Das, S. (2020). *Principles and Practices of DNA Analysis: A Laboratory Manual for Forensic DNA Typing*.
- Douglas A. Skoog, F. James Holler, dan S. R. C. (2018). Principles of Instrumental Analysis (7th edition). In *Cengage Learning* (Vol. 7). [https://doi.org/10.1016/0020-7381\(82\)80120-4](https://doi.org/10.1016/0020-7381(82)80120-4)
- Ekanayake, L. J., Ihalage, D., & Abyesundara, S. P. (2021). Performance Evaluation of Google Spreadsheet over RDBMS through Cloud Scripting Algorithms. *2021 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2021*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICCCI50826.2021.9402432>
- EngineeringTribe. (n.d.). *Generalized measurement system: block diagram, elements, stages, example*.
- Febrina, L., & Ayuna, A. (2019). Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik. *Jurnal Teknologi*, 7(1), 36–44. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/download/369/341>
- Fernandes, S., Tlemçani, M., Bortoli, D., Feliciano, M., & Lopes, M. E. (2023). A Portable Measurement Device Based on Phenanthroline Complex for Iron Determination in Water. *Sensors*, 23(3), 1–19. <https://doi.org/10.3390/s23031058>

- Gaffney, K. J. (2021). Capturing photochemical and photophysical transformations in iron complexes with ultrafast X-ray spectroscopy and scattering. *Chemical Science*, *12*(23), 8010–8025. <https://doi.org/10.1039/d1sc01864g>
- Ghosh, G. C., Khan, M. J. H., Chakraborty, T. K., Zaman, S., Kabir, A. H. M. E., & Tanaka, H. (2020). Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62187-5>
- Haryanti, S., Harum Prasetya, A., & Timur Hartanto, A. (2022). Penerapan Filter Multi Media Paralel Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Application of Parallel Multi Media Filter To Reduce Iron (Fe) And Manganese (Mn) Content. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, *12*(1), 116–119. <https://doi.org/10.47718/jkl.v10i2.1180>
- Iakovidis, D. K., Ooi, M., Kuang, Y. C., Demidenko, S., Shestakov, A., Sinitin, V., Henry, M., Sciacchitano, A., Discetti, S., Donati, S., Norgia, M., Menychtas, A., Maglogiannis, I., Wriessnegger, S. C., Chacon, L. A. B., Dimas, G., Filos, D., Aletras, A. H., Töger, J., ... Gao, R. X. (2022). Roadmap on signal processing for next generation measurement systems. *Measurement Science and Technology*, *33*(1). <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ac2dbd>
- Kang, H., Liu, Y., Li, D., & Xu, L. (2022). Study on the Removal of Iron and Manganese from Groundwater Using Modified Manganese Sand Based on Response Surface Methodology. *Applied Sciences (Switzerland)*, *12*(22). <https://doi.org/10.3390/app122211798>
- Kusumo, L. A. J. I., Pembimbing, D., Magister, P., Elektronika, B. K., Elektro, D. T., Teknologi, F., Dan, E., & Cerdas, I. (2020). *Rancang bangun peralatan deteksi spektrum raman portabel untuk aplikasi pada cairan*.
- Laganovska, K., Zolotarjovs, A., Vázquez, M., Mc Donnell, K., Liepins, J., Ben-Yoav, H., Karitans, V., & Smits, K. (2020). Portable low-cost open-source wireless spectrophotometer for fast and reliable measurements. *HardwareX*, *7*, e00108. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00108>
- Lee, J. W., Hwang, E., & Kacker, R. N. (2022). True value, error, and measurement uncertainty: two views. *Accreditation and Quality Assurance*, *27*(4), 235–242. <https://doi.org/10.1007/s00769-022-01508-9>
- Marsidi, N., Abu Hasan, H., & Sheikh Abdullah, S. R. (2018). A review of biological aerated filters for iron and manganese ions removal in water treatment. *Journal of Water Process Engineering*, *23*(January), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.01.010>
- McGrath, M. J., & Scanail, C. N. (n.d.). *Sensor Technologies*. 1–17.
- Mehta, C. (2023). *Tap water's toxic secret*. Harvard Public Health. <https://harvardpublichealth.org/environmental-health/manganese-in-water-a-threat-to-americans-health/>
- Melo, J. C., Carvalho, W. C., Boa Morte, E. S., Araujo, R. G. O., & Santos, D. C. M. B. (2020). Sequential Determination of Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, and Zn in Powdered Refreshments by FS-F AAS After a Simple Sample Treatment. *Food Analytical Methods*, *13*(1), 212–221. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01589-2>
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2017). 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. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia*, 1–20.
- Nadhira, V., Juliastuti, E., Ilham Fauzy, L., & Tri Widodo, R. (2017). Alat Ukur Portabel Kadar Logam Mangan dan Besi dalam Air Menggunakan Prinsip Spektrofotometer. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 9(2), 71. <https://doi.org/10.5614/joki.2017.9.2.1>
- National Aeronautics and Space Administration, S. M. D. (2010). *Visible Light*. Science.Nasa.Gov. [https://science.nasa.gov/ems/09\\_visiblelight](https://science.nasa.gov/ems/09_visiblelight)
- Ramayani, P., Jumiati, E., & Daulay, A. H. (2022). Penurunan Kadar Mn Dan Fe Air Sumur Gali Dengan Filtrasi Bahan Pasir Silika, Karbon Aktif Serat Daun Nanas, dan Zeolit. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika Universitas Negeri Medan*. <https://doi.org/10.21608/pshj.2022.250026>
- Rodger, A. (2018). *Absorption Spectroscopy, the Beer-Lambert Law, and Transition Polarizations*. 2, 3–4.
- Said, N. I. (2015). Metoda Penghilangan Zat Besi Dan Mangan Di Dalam Penyediaan Air Domestik. *Jai*, 1(3), 239–250.
- Sangaiya, P., & Jayaprakash, R. (2018). A Review on Iron Oxide Nanoparticles and Their Biomedical Applications. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 31(11), 3397–3413. <https://doi.org/10.1007/s10948-018-4841-2>
- Srivastava, S., & Sharma, V. (2021). Ultra-portable, smartphone-based spectrometer for heavy metal concentration measurement in drinking water samples. *Applied Water Science*, 11(11), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01519-w>
- Toledo, M. (2015). UV / VIS Spectrophotometry. *Mettler-Toledo International, November*, 56. <https://www.mt.com/es/es/home/library/guides/laboratory-division/1/uvvis-spectrophotometry-guide-applications-fundamentals.html>
- Turner, J. D. (2016). *Instrumentation For Engineer* (Vol. 19, Issue 5).
- Utami, M. D., Zahra, A. A., & Sudjadi, S. (2020). Perancangan Dan Analisa Kinerja Sistem Akuisisi Data Sensor Tcs34725 Dan Pengendalian Pompa Motor Dc Pada Alat Pencampur Warna. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(3), 360–367. <https://doi.org/10.14710/transient.v9i3.360-367>
- Wang, Y., Zhang, K., Shi, S., Wang, Q., & Liu, S. (2023). Portable Protein and Fat Detector in Milk Based on Multi-Spectral Sensor and Machine Learning. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/app132212320>
- Workneh, S. M., Dagnaw, G. A., Adamu, A. M., & Wubetu, G. A. (2024). Low-cost visible spectrophotometer for detecting absorption and emission in metallic blends of colorful samples solution. *Results in Optics*, 16(June), 100703. <https://doi.org/10.1016/j.rio.2024.100703>
- Xue, Z., & Li, L. (2022). Rapid and green detection of manganese in electrolytes by ultraviolet-visible spectrometry to control pollutant discharge. *PLoS ONE*, 17(2 February), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264532>
- Yudono, B. (2017). *Buku Spektrometri*. 64–68.
- Zarkashie, M. F. (2021). Rancang Bangun Sistem Pengukuran Kualitas Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi Berbasis Arduino Uno. In *Jurnal Teknik Elektro* (Vol. 2, Issue 12).

# LAMPIRAN

## Desain 3D Alat



## Hasil Uji Lab Sampel Air



**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**DIREKTORAT KERJASAMA DAN PENGELOLAAN USAHA (DKPU)**  
**LABORATORIUM ENERGI DAN LINGKUNGAN**  
Gedung Research Center Lt. 5, Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111  
Telp. (031) 5944792; Ext. 1113; Fax. (031) 5996670; Hp: 081331078833  
Website: [www.its.ac.id/dkpu](http://www.its.ac.id/dkpu). Email: [lab.energi.lingkungan.its@gmail.com](mailto:lab.energi.lingkungan.its@gmail.com)

### **LAPORAN HASIL PENGUJIAN** **No : 214/LHP/LEL-ITS/VII/2025**

Nama Pemilik : Wahyuni Putri Wijaya  
Alamat Pemilik : ITS  
Nama Contoh : **Sampel Filtrasi Air** Tanggal Terima : 17 Juli 2025  
Deskripsi Contoh : Bentuk : -Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 21 Juli 2025  
Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 22 Juli 2025  
Kemasan : Botol Plastik  
Kode Contoh : **250717-001-004** Jumlah Contoh : 5

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi dan Lingkungan DKPU ITS.

#### **Hasil Pengujian (Terlampir)**

Suhu : 21,1 °C  
Humidity : 53 %  
Analisis : DPS

#### Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara utuh.

Surabaya, 24 Juli 2025  
Kepala Laboratorium  
Energi dan Lingkungan ITS

Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 197801152003121002

Koordinator Teknis

Vita Yuliana, S.Si.  
NPP. 1990201822404



Lampiran 1 dari 1

Lampiran No : 214/LHP/LEL-ITS/VII/2025

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1.	Sampel I	Besi (Fe)	0,0032	mg/L	AAS-Flame
		Mangan (Mn)	0,0094		
2.	Sampel II	Besi (Fe)	0,0138		
		Mangan (Mn)	0,6096		
3.	Sampel III	Besi (Fe)	0,0141		
		Mangan (Mn)	0,8122		
4.	Sampel IV	Besi (Fe)	0,0334		
		Mangan (Mn)	1,1752		
5.	Sampel V	Besi (Fe)	0,0486		
		Mangan (Mn)	3,3792		

Koordinator Teknis

Vita Yuliana, S.Si  
NPP. 1990201822404

Data Pengujian Sensor TCS34725

INTENSITAS CAHAYA KE-	L1		L2		L3		RATA-RATA SENSOR	RATA-RATA VALIDATOR	ERROR
	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR			
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
10%	30	31	30	31	30	31	30	31	3
20%	54	54	54	54	54	54	54	54	0
20%	54	54	54	54	54	54	54	54	0
20%	54	54	54	54	54	54	54	54	0
20%	54	54	54	54	54	54	54	54	0
20%	54	54	54	54	54	54	54	54	0
20%	54	54	54	54	54	54	54	54	0
20%	53	54	54	54	54	54	54	54	1
20%	54	54	54	54	54	54	54	54	0
20%	53	54	54	54	54	54	54	54	1
20%	53	54	53	54	54	54	53	54	1

INTENSITAS CAHAYA KE-	L1		L2		L3		RATA-RATA SENSOR	RATA-RATA VALIDATOR	ERROR
	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR			
30%	77	77	77	77	77	77	77	77	0
30%	77	77	77	77	77	77	77	77	0
30%	77	77	77	77	77	77	77	77	0
30%	77	77	77	77	77	77	77	77	0
30%	76	77	77	77	77	77	77	77	0
30%	76	77	76	77	76	77	76	77	1
30%	77	77	77	77	77	77	77	77	0
30%	77	77	77	77	77	77	77	77	0
30%	76	77	76	77	76	77	76	77	1
30%	77	77	77	77	77	77	77	77	0
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
40%	99	100	99	100	99	100	99	100	1
50%	121	122	121	122	121	122	121	122	1

INTENSITAS CAHAYA KE-	L1		L2		L3		RATA-RATA SENSOR	RATA-RATA VALIDATOR	ERROR
	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR			
50%	121	122	120	122	121	122	121	122	1
50%	120	121	120	121	120	121	120	121	1
50%	120	121	120	121	120	121	120	121	1
50%	120	121	120	120	120	120	120	120	0
50%	119	120	120	120	120	120	120	120	0
50%	120	120	120	120	119	120	120	120	0
50%	119	120	119	120	120	120	119	120	1
50%	120	120	119	120	119	120	119	120	1
50%	119	120	119	120	119	120	119	120	1
60%	141	142	141	142	141	142	141	142	1
60%	140	142	140	142	140	141	140	142	1
60%	140	141	140	141	140	141	140	141	1
60%	140	141	140	141	140	141	140	141	1
60%	140	141	140	141	140	141	140	141	1
60%	140	141	140	141	140	141	140	141	1
60%	140	141	140	141	140	141	140	141	1
60%	140	141	140	141	140	141	140	141	1
60%	140	141	139	141	140	141	140	141	1
60%	140	141	140	141	140	141	140	141	1
70%	161	163	161	163	161	162	161	163	1
70%	161	162	161	162	161	162	161	162	1

INTENSITAS CAHAYA KE-	L1		L2		L3		RATA-RATA SENSOR	RATA-RATA VALIDATOR	ERROR
	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR			
70%	160	162	160	162	160	162	160	162	1
70%	160	162	160	162	160	161	160	162	1
70%	160	161	160	161	160	161	160	161	1
70%	160	161	160	161	159	161	160	161	1
70%	160	161	160	161	160	161	160	161	1
70%	160	161	159	161	159	161	159	161	1
70%	159	161	159	161	159	161	159	161	1
70%	159	161	160	161	159	161	159	161	1
80%	180	181	180	181	181	182	180	181	1
80%	179	181	180	181	180	181	180	181	1
80%	179	181	179	181	179	181	179	181	1
80%	178	180	179	180	179	181	179	180	1
80%	178	180	178	179	178	180	178	180	1
80%	178	179	178	179	178	179	178	179	1
80%	178	179	177	179	177	179	177	179	1
80%	178	179	178	179	178	179	178	179	1
80%	178	179	177	179	177	179	177	179	1
80%	178	179	177	179	178	179	178	179	1
90%	198	199	198	199	198	199	198	199	1
90%	197	199	197	198	196	198	197	198	1
90%	196	198	196	198	196	198	196	198	1

INTENSITAS CAHAYA KE-	L1		L2		L3		RATA-RATA SENSOR	RATA-RATA VALIDATOR	ERROR
	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR	SENSOR	VALIDATOR			
90%	196	198	196	198	196	197	196	198	1
90%	195	197	195	197	196	197	195	197	1
90%	196	197	196	197	195	197	196	197	1
90%	194	197	194	197	194	197	194	197	2
90%	194	196	194	196	195	196	194	196	1
90%	195	196	195	196	195	196	195	196	1
90%	195	196	195	196	194	196	195	196	1
100%	213	215	212	214	212	214	212	214	1
100%	211	213	211	213	210	213	211	213	1
100%	210	213	211	213	211	213	211	213	1
100%	210	212	210	212	210	212	210	212	1
100%	210	212	209	212	209	211	209	212	1
100%	209	211	208	211	208	211	208	211	1
100%	209	211	208	211	207	210	208	211	1
100%	208	210	208	210	208	210	208	210	1
100%	208	210	207	210	207	210	207	210	1
100%	208	210	208	210	207	210	208	210	1
<b>RATA-RATA ERROR</b>									1
<b>AKURASI</b>									99

Data Pengujian LED dengan Panjang Gelombang 510 nm

Percobaan ke-	Pembacaan (nm)	Rata-rata (nm)
1	510	509
	508	
	509	
	509	
	510	
	509	
	508	
	510	
	509	
	509	
2	512	512
	513	
	511	
	511	
	510	
	512	
	513	
	512	
	511	
	512	
3	508	509
	509	
	510	
	510	
	509	
	509	
	509	
	509	
	510	
	508	
4	510	510
	510	
	511	
	509	
	510	
	510	
	509	
	509	
	510	
	510	

Percobaan ke-	Pembacaan (nm)	Rata-rata (nm)
5	511	510
	510	
	510	
	510	
	510	
	509	
	510	
	510	
	511	
	509	
6	511	511
	511	
	510	
	511	
	510	
	511	
	510	
	512	
	511	
	510	
7	510	510
	510	
	511	
	510	
	509	
	510	
	510	
	511	
	509	
	510	
8	510	510
	510	
	510	
	510	
	509	
	509	
	511	
	510	
	510	
	509	
9	508	508
	508	

Percobaan ke-	Pembacaan (nm)	Rata-rata (nm)
	509	
	507	
	508	
	508	
	508	
	509	
	507	
	509	
10	510	510
	510	
	510	
	510	
	510	
	509	
	511	
	510	
	510	
	510	

Data Pengujian LED dengan Panjang Gelombang 525 nm

Percobaan ke-	Pembacaan (nm)	Rata-rata (nm)
1	523	524
	524	
	523	
	524	
	523	
	524	
	523	
	524	
	524	
	523	
2	524	524
	524	
	525	
	523	
	524	
	524	
	525	
	524	
	524	

Percobaan ke-	Pembacaan (nm)	Rata-rata (nm)
	524	
3	525	525
	525	
	525	
	525	
	524	
	525	
	525	
	524	
	525	
	525	
4	525	525
	525	
	525	
	525	
	525	
	525	
	525	
	525	
	525	
	525	
5	525	525
	525	
	524	
	525	
	525	
	525	
	524	
	525	
	525	
	525	
6	525	525
	525	
	525	
	525	
	525	
	524	
	525	
	525	
	525	
	525	

Percobaan ke-	Pembacaan (nm)	Rata-rata (nm)
7	524	524
	524	
	524	
	525	
	524	
	524	
	524	
	525	
	524	
	524	
8	525	525
	525	
	525	
	524	
	525	
	525	
	524	
	525	
	525	
	525	
9	525	525
	525	
	525	
	524	
	525	
	525	
	525	
	525	
	525	
	525	
10	525	525
	524	
	524	
	525	
	525	
	524	
	525	
	525	
	524	
	525	

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Wahyuni Putri Wijaya, lahir pada tanggal 03 Juni 2002 di Kota Surabaya, Jawa Timur. Penulis berdomisili di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan di SMAN 3 Sidoarjo dan dilanjutkan ke jenjang perkuliahan di Departemen Teknologi Rekayasa Instrumentasi (D4) Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama menempuh pendidikan D4, penulis terlibat aktif dalam keorganisasian HIMATEKINS (Himpunan Mahasiswa Teknik Instrumentasi) sebagai Sekretaris Departemen PSDM pada periode 2023-2024. Dengan dedikasi, semangat belajar yang tinggi, dan usaha yang konsisten, penulis berhasil menyelesaikan

Proyek Akhir beserta laporan akhirnya. Harapan penulis, laporan ini dapat memberikan kontribusi yang positif bagi dunia pendidikan, bangsa, negara, Departemen Teknik Instrumentasi, dan ITS. Sebagai penutup, penulis menyampaikan rasa syukur yang mendalam atas terselesaikannya laporan Proyek Akhir ini.