

TA/TL/2025/2036



JURUSAN  
TEKNIK LINGKUNGAN

## **TUGAS AKHIR**

### **Analisis Konsentrasi dan Distribusi Spasial Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah di Kecamatan Kraton, Yogyakarta**

**Muhammad Rayhan Hafidz**

**21513024**

**Dosen Pembimbing 1:**

**Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.**

**Dosen Pembimbing 2:**

**Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D..**

**Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana**

**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**

**Universitas Islam Indonesia**

**2025**



DEPARTMENT  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

**BACHELOR THESIS**

**Analysis of Concentration and Spatial Distribution of Iron  
(Fe) and Manganese (Mn) Metals in Groundwater in Kraton  
Sub-district, Yogyakarta**

**Muhammad Rayhan Hafidz**  
**21513024**

**Supervisor 1:**

**Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.**

**Supervisor 2:**

**Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.**

**Environmental Engineering Bachelor Program**

**Faculty of Civil Engineering and Planning**

**Universitas Islam Indonesia**

**2025**

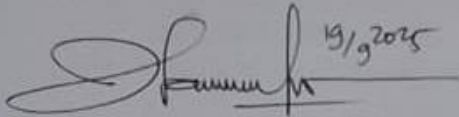
**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**Analisis Konsentrasi dan Distribusi Spasial Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn)  
Dalam Air Tanah di Kecamatan Kraton, Yogyakarta**

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

**Muhammad Rayhan Hafidz  
21513024**

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 17 September 2025 dan disetujui oleh:

 19/9/2025

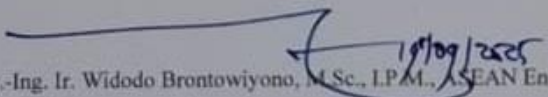
Dhandono Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 1)

 19/9/25

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 2)

 19/09/2025

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., SEAN Eng.

(Penguji)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

 19/9/25

Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.

## PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
  - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
  - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 17 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rayhan Hafidz  
21513024

## PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "Analisis Konsentrasi dan Distribusi Spasial Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah di Kecamatan Kraton, Yogyakarta". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dari Teknik Lingkungan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Allah Subhanahuwata'ala, yang telah memperkenalkan dan memberikan penulis kelancaran dalam penulisan Tugas Akhir ini.
2. Ayahanda tercinta Fauzi S.E, dan Ibunda tersayang Deni Novita S.H., serta Keluarga Penulis yang senantiasa memberikan dukungan secara moral, material, dan doa selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, dan solusi dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, dan solusi dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam penulisan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Lingkungan yang telah berkontribusi dalam memberikan pengetahuan selama masa perkuliahan
7. Muhammad Rayhan Hafidz, diri penulis yang telah berjuang untuk menyelesaikan kewajibannya sebagai mahasiswa.
8. Teman-teman seperjuangan penulis di Program Studi Teknik Lingkungan yang selalu menjadi bagian dalam perjalanan perkuliahan yang dilewati oleh penulis mulai dari awal hingga akhir.
9. Aufa Idsa Pratama, Wahyu Septa Pramudya, Setyo Nugroho, dan Satria Abrar sebagai teman seperjuangan yang telah menemani penulis ketika SMP hingga sekarang.
10. Abizardy Bintang Syahazfa yang menjadi teman seperjuangan penulis selama masa kuliah.

Sleman, 17 September 2025

  
Muhammad Rayhan Hafidz

# **Analisis Konsentrasi dan Distribusi Spasial Logam Besi (Fe) dan Mangan(Mn) Dalam Air Tanah di Kecamatan Kraton, Yogyakarta**

Mahasiswa : Muhammad Rayhan Hafidz  
NIM : 21513024  
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana  
Pembimbing : Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

## **Abstrak**

Air tanah menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Salah satu permasalahan yang sering muncul dalam kualitas air tanah adalah keberadaan logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn). Dalam konsentrasi tinggi, logam-logam ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu permasalahan yang sering muncul dalam kualitas air tanah adalah keberadaan logam berat. Kecamatan Kraton, Yogyakarta, merupakan kawasan padat penduduk dengan aktivitas domestik, komersial, dan pariwisata yang tinggi. Kombinasi faktor alami dan antropogenik dapat mempengaruhi kualitas air tanah, termasuk meningkatkan konsentrasi logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan distribusi logam-logam tersebut dan mengkaji hubungan antarparameter kimia. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah sebagai dasar pengelolaan kualitas air tanah secara berkelanjutan di Kecamatan Kraton.

Penelitian ini menggunakan dua metode untuk analisis logam berat. Metode pertama adalah analisis statistik. Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu bivariate analysis. Sedangkan metode kedua yang digunakan adalah analisis spasial. Analisis spasial menggunakan Geographic Information System (GIS) dengan bantuan software ArcgisPro. Penggunaan software tersebut, nantinya akan ditambah dengan interpolasi (IDW) untuk mengetahui persebaran logam berat di Kecamatan Kraton.

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan perhitungan statistik, Konsentrasi parameter logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) di seluruh titik pengambilan sampel berada di bawah ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh Permenkes No. 2 Tahun 2023, yaitu 0,2 mg/L untuk Besi (Fe) dan 0,1 mg/L untuk Mangan (Mn). Nilai Fe tertinggi ditemukan sebesar 0,1233 mg/L, sedangkan Mn berada pada batas deteksi laboratorium yaitu 0,0158 mg/L secara seragam di semua titik.

Kata kunci: *Besi, Bivariate Analysis, Daya Hantar Listrik, Geographic Information System, Kecamatan Kraton, Mangan, pH, Total Dissolved Solid*

# **Analysis of Concentration and Spatial Distribution of Iron (Fe) and Manganese (Mn) Metals in Groundwater in Kraton Subdistrict, Yogyakarta**

*Student* : Myhammad Rayhan Hafidz  
*Student Number* : 21513024  
*Study Program* : Environmental Engineering – Bachelor Program  
*Supervisor* : Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

## ***Abstract***

Groundwater is a basic necessity for human life. One of the problems that often arise in groundwater quality is the presence of heavy metals such as iron (Fe) and manganese (Mn). In high concentrations, these heavy metals can have a negative impact on human health and the environment. One of the problems that often arise in groundwater quality is the presence of heavy metals. Kraton sub-district is a densely populated area with high domestic, commercial, and tourism activities that can affect groundwater quality, including increasing heavy metal concentrations. This study aims to describe the distribution of heavy metals and examine the relationship between chemical parameters. The results are expected to provide scientific information on an ongoing basis in Kraton Sub-district.

This research uses two methods for analysis. first is statistical analysis. Statistical analysis in this research is bivariate analysis. While the second method is spatial analysis, using Geographic Information System (GIS) with the help of ArcgisPro software. The use of this software will be added with interpolation (IDW) to determine the distribution of heavy metals in Kraton District.

Based on the results of the study, the concentrations of Iron (Fe) and Manganese (Mn) metal parameters at all sampling points were below the quality standard threshold set by Permenkes No. 2 of 2023, namely 0.2 mg/L for Iron (Fe) and 0.1 mg/L for Manganese (Mn). The highest Fe value was found at 0.1233 mg/L, while Mn was at the laboratory detection limit of 0.0158 mg/L uniformly at all points.

*Key words: Bivariate Analysis, Electrical Conductivity, Geographic Information System, Iron, Kraton District, Manganese, pH, Total Dissolve Solid,*

## DAFTAR ISI

PRAKATA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Abstrak .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kualitas Air Tanah dan Faktor yang Mempengaruhinya.....	4
2.2 Kualitas Air Tanah dan Parameter Kimia .....	5
2.3 Baku Mutu Kualitas Air Parameter Kimia.....	5
2.4 Besi (Fe) dan Mangan (Mn).....	7
2.5 pH.....	8
2.6 Total Dissolve Solid (TDS).....	9
2.7 Daya Hantar Listrik (DHL).....	10
2.8 Dampak Kesehatan .....	11
2.9 Sistem Informasi Geografis (GIS) .....	12
2.10 Spektrofotometri .....	14

2.11 Penelitian Terdahulu .....	14
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Kerangka Studi/Penelitian/Perencanaan .....	17
3.2 Pengumpulan Data .....	17
3.2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	17
3.2.2 Alat dan Bahan .....	18
3.2.3 Parameter yang Diamati.....	23
3.2.4 Prosedur Pengambilan dan Pengujian Sampel.....	23
3.3 Analisis Data .....	27
3.3.1 Analisis Statistik .....	27
3.3.2 Analisis Spasial .....	27
3.3.3 Interpretasi terhadap Baku Mutu .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Hasil .....	29
4.1.1 Deskripsi Umum Lokasi Penelitian .....	29
4.1.2 Hasil Pengujian Laboratorium .....	39
4.1.3 Statistik Deskriptif Parameter Air Tanah.....	43
4.1.4 Perbandingan Data Primer dan Data Sekunder.....	45
4.1.5 Hasil Analisis Bivariate.....	48
4.1.5.1 Hubungan Fe dengan Mn.....	49
4.1.5.2 Hubungan Fe dengan pH .....	50
4.1.5.3 Hubungan Fe dengan TDS.....	51
4.1.5.4 Hubungan Fe dengan DHL .....	52
4.1.5.5 Hubungan Mn dengan pH.....	53
4.1.5.6 Hubungan Mn dengan TDS .....	55
4.1.5.7 Hubungan Mn dengan DHL.....	56
4.1.5.8 Hubungan pH dengan DHL .....	57
4.1.5.9 Hubungan pH dengan TDS.....	58

4.1.5.10 Hubungan TDS dengan DHL.....	59
4.1.6 Pemetaan Spasial Dengan IDW .....	62
4.1.6.1 Peta Sebaran Konsentrasi Besi (Fe).....	64
4.1.6.2 Peta Sebaran Konsentrasi Mangan (Mn) .....	65
4.1.7 Evaluasi Kesesuaian Terhadap Baku Mutu.....	67
4.1.8 Mekanisme Hubungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dengan pH, Total Dissolved Solid (TDS), dan Daya Hantar Listrik (DHL) .....	68
4.1.9 Hasil Responden Kusioner Warga .....	70
4.2 Pembahasan.....	71
BAB V PENUTUP.....	74
5.1 Kesimpulan .....	74
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA .....	76
LAMPIRAN .....	79
RIWAYAT HIDUP.....	97

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Keperluan Higiene.....	6
Tabel 2. 2 Parameter Air untuk Keperluan Higiene dan Sanitasi.....	7
Tabel 2. 3 Klasifikasi Jumlah Padatan Terlarut.....	10
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu.....	15
Tabel 3. 1 Parameter dalam penelitian .....	23
Tabel 4. 1 Identitas dan Titik Sumur di Titik Pengambilan Sampel .....	30
Tabel 4. 2 Penggunaan dan Sanitasi Lingkungan Titik Pengambilan Sampel .....	38
Tabel 4. 3 Hasil Uji laboratorium.....	39
Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Uji Laboratorium Dengan Baku Mutu .....	42
Tabel 4. 5 Hasil statistik deskriptif.....	43
Tabel 4. 6 Data primer dan sekunder parameter besi (Fe).....	46
Tabel 4. 7 Data primer dan sekunder parameter mangan (Mn).....	46
Tabel 4. 8 Data primer dan sekunder parameter pH.....	47
Tabel 4. 9 Data primer dan sekunder parameter TDS .....	47
Tabel 4. 10 Pedoman umum Korelasi Pearson (r).....	49
Tabel 4. 11 Tabel Rekapitulasi Nilai Korelasi dan Koefisien Determinasi.....	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Alur Penelitian .....	17
Gambar 3. 2 Botol sampel air tanah .....	18
Gambar 3. 3 Kertas lakmus .....	19
Gambar 3. 4 TDS meter.....	19
Gambar 3. 5 EC Meter.....	20
Gambar 3. 6 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) .....	21
Gambar 3. 7 Peta menggunakan Arcgis Pro.....	21
Gambar 3. 8 Tampilan Excel.....	22
Gambar 3. 9 Larutan HNO <sub>3</sub> .....	23
Gambar 3. 10 Prosedur Uji Besi (Fe) dan Mangan (Mn) .....	24
Gambar 3. 11 Prosedur Uji pH.....	25
Gambar 3. 12 Prosedur Uji Daya Hantar Listrik dan <i>Total Dissolved Solid</i> .....	26
Gambar 4. 1 Peta Wilayah Kecamatan Kraton.....	29
Gambar 4. 2 Scatter Plot Hubungan Antara Fe dan Mn.....	49
Gambar 4.3 Scatter Plot Hubungan Antara Fe dan pH.....	50
Gambar 4. 4 Scatter Plot Hubungan Antara Fe dan TDS .....	51
Gambar 4. 5 Scatter Plot Hubungan Antara Fe dan DHL .....	53
Gambar 4. 6 Scatter Plot Hubungan Antara Mn dan pH.....	54
Gambar 4. 7 Scatter Plot Hubungan Antara Mn dan TDS .....	55
Gambar 4. 8 Scatter Plot Hubungan Antara Mn dan DHL.....	56
Gambar 4. 9 Scatter Plot Hubungan Antara pH dan DHL .....	57
Gambar 4. 10 Scatter Plot Hubungan Antara pH dan TDS.....	58
Gambar 4. 11 Scatter Plot Hubungan Antara TDS dan DHL.....	59
Gambar 4. 12 Peta Interpolasi IDW Besi .....	64
Gambar 4. 13 Peta Interpolasi IDW Mangan .....	66

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kusioner Kecamatan Kraton.....	79
Lampiran 2 Kusioner Sd Negeri Kraton.....	80
Lampiran 3 Kusioner Smp Negeri 16 Yogyakarta.....	81
Lampiran 4 Kusioner Sd Negeri Panembahan .....	82
Lampiran 5 Sd Negeri Keputran 1.....	83
Lampiran 6 Kusioner Sd Negeri Keputran 2 .....	84
Lampiran 7 Kusioner Sd Negeri Keputran A .....	85
Lampiran 8 Kusioner Pasar Ngasem .....	86
Lampiran 9. Kusioner RTHP Rotowijayan, Sumur warga 1, dan 2 .....	87
Lampiran 10 Peta Idw Besi (Fe).....	88
Lampiran 11 Peta Idw Mangan (Mn) .....	88
Lampiran 12 Hasil Pengukuran TDS T1 .....	89
Lampiran 13 Hasil Pengukuran TDS T2 .....	89
Lampiran 14 Hasil Pengukuran TDS T3 Dan T11 .....	90
Lampiran 15 Hasil Pengukuran TDS T4 .....	90
Lampiran 16 Hasil Pengukuran TDS T5 .....	91
Lampiran 17 Hasil Pengukuran TDS T6 .....	91
Lampiran 18 Hasil Pengukuran TDS T7 .....	92
Lampiran 19 Hasil Pengukuran TDS T8 .....	92
Lampiran 20 Hasil Pengukuran TDS T9 .....	93
Lampiran 21 Hasil Pengukuran TDS T10 .....	93
Lampiran 22 Titik Lokasi dan Hasil Pengukuran 5 Parameter .....	94
Lampiran 23 Rata-rata dan Standar Deviasi 5 Paramater.....	94
Lampiran 24 Nilai Correl (R) dan Determinasi (R <sup>2</sup> ) .....	94
Lampiran 25 Kurva Kalibrasi Uji Besi.....	95
Lampiran 26 LOD dan LOQ Besi (Fe).....	96
Lampiran 27 LOD dan LOQ Mangan (Mn) .....	96

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Secara umum, air tanah didefinisikan sebagai air yang terdapat di bawah permukaan bumi dalam ruang pori tanah dan rekahan batuan (Bregasnia et al., 2020). Air tanah menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Ketersediaan dan kualitas air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi dan hidrologi setempat. Sebagai sumber air utama, air tanah wajib memenuhi baku mutu air minum sesuai Permenkes No. 2 Tahun 2023, terutama jika dimanfaatkan untuk konsumsi dan kebutuhan domestik lainnya (Sudiartawan, 2021). Salah satu permasalahan yang sering muncul dalam kualitas air tanah adalah keberadaan logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn). Dalam konsentrasi tinggi, logam-logam ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Sholahuddin & Rodhi, 2024). Salah satu permasalahan yang sering muncul dalam kualitas air tanah adalah keberadaan logam berat seperti Besi (Fe) dan Mangan (Mn), yang dalam konsentrasi tinggi dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun keberlanjutan lingkungan.

Besi (Fe) dalam air tanah umumnya berasal dari proses pelapukan batuan yang mengandung mineral besi, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik seperti limbah industri, domestik, serta korosi pada infrastruktur pipa. Kandungan Fe yang tinggi dapat menyebabkan perubahan warna, rasa, endapan, serta berdampak bagi kesehatan (Wahyuni, 2019). Adanya kandungan bahan kimia yang melebihi batas dalam air akan mempengaruhi kesehatan, contohnya yaitu besi (Fe) dan mangan (Mn). (Pratama, 2020). Mangan umumnya ditemui dalam bentuk senyawa dengan berbagai macam valensi. Air yang mengandung mangan (Mn) berlebih menimbulkan rasa, warna (coklat/ungu/hitam), dan kekeruhan (Fauziah, 2010). Oleh karena itu, pemantauan kandungan mangan dalam air tanah menjadi penting untuk mengetahui tingkat kerentanan kualitas air tanah serta dampaknya terhadap kesehatan masyarakat. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan serta teknologi, kegiatan manusia juga semakin meningkat yang berakibat dapat

mempengaruhi kualitas air. Jika air mengalami penurunan kualitas secara berlanjut, air akan menjadi tercemar. Selain Fe dan Mn, parameter pH juga menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas air tanah, karena berperan dalam mempengaruhi kelarutan dan mobilitas logam berat dalam lingkungan perairan. Oleh karena itu, analisis pH dalam penelitian ini akan berfungsi sebagai parameter pendukung dalam memahami mekanisme geokimia yang berkontribusi terhadap keberadaan Fe dan Mn di wilayah studi.

Kecamatan Kraton, Yogyakarta, merupakan kawasan padat penduduk dengan aktivitas domestik, komersial, dan pariwisata yang tinggi. Kombinasi faktor alami dan antropogenik di wilayah ini dapat memengaruhi kualitas air tanah, termasuk meningkatkan konsentrasi logam berat. Berdasarkan laporan Dinas Lingkungan Hidup Yogyakarta (2023) dan studi oleh Adji et al. (2022), ditemukan bahwa beberapa sumur di wilayah ini menunjukkan kadar logam berat yang mendekati ambang batas, khususnya Fe dan Mn.

Penelitian ini menjadi penting untuk mengetahui pola sebarannya di wilayah ini. Melalui pendekatan analisis spasial (dengan interpolasi IDW) dan analisis statistik, penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan distribusi logam-logam tersebut dan mengkaji hubungan antarparameter kimia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah sebagai dasar pengelolaan kualitas air tanah secara berkelanjutan di Kecamatan Kraton.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut didapatkan permasalahan umum, yaitu :

1. Bagaimana tingkat konsentrasi besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air tanah di Kecamatan Kraton, Yogyakarta, dan bagaimana variasinya pada setiap titik pengambilan sampel?
2. Bagaimana hubungan antara parameter besi (Fe), mangan (Mn) dan pH dalam menentukan konsentrasi dan distribusi spasial kualitas air tanah di wilayah penelitian?
3. Bagaimana hubungan antara logam Fe, Mn, dan parameter kimia lainnya seperti pH, TDS, dan DHL dalam air tanah?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang diharapkan dalam penelitian ini, seperti :

1. Menganalisis tingkat konsentrasi besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air tanah di Kemantren Kraton, Yogyakarta, serta menentukan konsentrasi pH pada setiap titik pengambilan sampel.
2. Menganalisis pola spasial dan statistik persebaran besi (Fe) dan mangan (Mn) menggunakan teknik GIS.
3. Menentukan hubungan antara parameter besi (Fe), mangan (Mn) dan pH untuk memahami faktor yang mempengaruhi kualitas air tanah di wilayah penelitian.
4. Mengidentifikasi pola pemanfaatan air tanah oleh masyarakat di wilayah penelitian melalui kuesioner, sebagai data pendukung analisis kualitas air tanah.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian yang penulis harapkan pada penelitian ini seperti berikut :

1. Mendukung kebijakan lingkungan dalam upaya perlindungan kualitas air tanah, terutama di daerah permukiman padat yang berpotensi mengalami pencemaran.
2. Meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kualitas air tanah agar tetap layak untuk dikonsumsi dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari.
3. Memberikan wawasan tentang pentingnya pengawasan dan pengelolaan kualitas air tanah untuk menjaga kesehatan lingkungan.
4. Memberikan informasi mengenai pola pemanfaatan air tanah oleh masyarakat setempat, sehingga dapat menjadi upaya pengelolaan kualitas air tanah.

### **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi beberapa hal seperti :

1. Penelitian ini hanya dilakukan di Kemantren Kraton, Yogyakarta, dengan pengambilan data sampel air tanah dari beberapa titik.
2. Penelitian hanya berfokus pada dua parameter kimia yaitu besi (*Fe*), mangan (Mn) dan pH, Total Dissolve Solid (TDS) serta Daya Hantar Listrik (DHL) sebagai parameter kimia pendukung.
3. Pengambilan sampel air tanah lalu menganalisis dengan interpolasi spasial dan statistik menggunakan perangkat lunak GIS (Arcgis Pro).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kualitas Air Tanah dan Faktor yang Mempengaruhinya**

Air tanah adalah salah satu sumber daya air yang terbentuk secara alami dan tersimpan di dalam pori-pori tanah maupun rekahan batuan di bawah permukaan bumi. Keberadaan ataupun kualitas air tanah juga dipengaruhi oleh adanya interaksi antara komponen geologi, hidrologi, dan aktivitas manusia. Kualitas air tanah mencerminkan seberapa layak air tanah itu digunakan dalam berbagai aspek atau kebutuhan, baik domestik maupun non-domestik. Tingkat kualitas air tanah dapat berubah seiring waktu akibat berbagai faktor alami maupun non-alami yang bekerja pada sistem akuifer (Undang-Undang No. 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air).

Faktor alami yang memengaruhi kualitas air tanah meliputi kondisi iklim, jenis batuan penyusun akuifer, proses pelapukan mineral, waktu tinggal air (*residence time*), serta vegetasi penutup lahan. Proses alami ini dapat menyebabkan pelepasan unsur-unsur kimia dari batuan ke dalam air melalui mekanisme pelarutan, pertukaran ion, dan reaksi redoks. Misalnya, di daerah dengan kandungan batuan vulkanik atau laterit, air tanah cenderung mengandung logam-logam seperti besi dan mangan dalam kadar tertentu. Waktu tinggal air yang lama dalam akuifer juga memungkinkan akumulasi senyawa tertentu yang dapat mengubah komposisi kimia air secara signifikan (Maria et al., 2014).

Selain faktor alami, aktivitas manusia (faktor non-alami) juga menjadi penyumbang utama terhadap penurunan kualitas air tanah. Kegiatan seperti pertanian intensif dengan penggunaan pupuk dan pestisida, pembuangan limbah domestik tanpa sistem pengolahan yang memadai, serta pembangunan sumur resapan yang tidak memenuhi standar teknis dapat menyebabkan masuknya kontaminan ke dalam akuifer. Bahan kimia dari permukaan tanah dapat meresap melalui proses infiltrasi dan mencapai zona jenuh, sehingga mencemari air tanah yang digunakan masyarakat. Oleh karena itu, pemahaman terhadap faktor-faktor penyebab perubahan kualitas air tanah sangat penting untuk menjaga keberlanjutan

sumber daya air, khususnya di wilayah yang padat penduduk atau sensitif terhadap pencemaran (Xu et al., 2018).

## **2.2 Kualitas Air Tanah dan Parameter Kimia**

Air tanah adalah air yang terdapat di dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah (Undang-Undang No. 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air). Kualitas air tanah adalah tingkat kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu dengan membandingkan kualitas air eksisting dengan baku mutu air yang telah ditetapkan. Faktor alami yang dapat berpengaruh terhadap kualitas air adalah kondisi iklim, geologi, vegetasi, dan waktu, sedangkan faktor non-alami yang berpengaruh adalah manusia. Faktor alami maksudnya adalah unsur-unsur kimia yang berada dalam air tanah terjadi akibat adanya interaksi antara air tanah yang memiliki sifat pelarut unsur kimia yang berada dalam batuan penyimpan air tanah atau akuifer. Faktor non-alami maksudnya adalah unsur kimia yang masuk ke dalam air tanah disebabkan oleh aktifitas kimia, misal pada daerah pertanian yang menggunakan pupuk kimia atau pestisida (Maria et al., 2014).

Parameter kimia merupakan parameter yang dilakukan dengan pengujian di dalam laboratorium sehingga dapat mengetahui seberapa besar kadar zat yang terkandung dalam air (Paramata, 2018). Salah satu parameter yang diujikan dalam penilaian kualitas air tanah adalah parameter kimia. Parameter kimia merupakan kandungan unsur atau senyawa kimia didalam air, seperti bahan organik (BOD, COD, dan TOC), kandungan oksigen, mineral atau logam (besi, mangan, dll), derajat keasaman (pH), nutrient, kesadahan, dan lain sebagainya.

## **2.3 Baku Mutu Kualitas Air Parameter Kimia**

Standar baku mutu kesehatan lingkungan merupakan panduan dimana batasan suatu nilai yang ditetapkan untuk beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kesehatan. Pemeriksaan ini dilihat dari (Permenkes No.02 Tahun 2023). Berikut ini merupakan table dari parameter kimia berdasarkan Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Keperluan Higiene (SBMKLKH).

Tabel 2. 1 Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Keperluan Higiene

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
1	Nitrat	20	mg/L	SNI/APHA
2	Nitrit	3	mg/L	SNI/APHA
3	pH	6,5-8,5	-	SNI/APHA
4	Kromium valensi	0,01	mg/L	SNI/APHA
5	Besi (Fe)	0,2	mg/L	SNI/APHA
6	Mangan (Mn)	0,1	mg/L	SNI/APHA

*Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023*

Kontaminasi berasal dari komponen fisika, kimia, dan biologi yang masuk kedalam sistem lingkungan perairan dengan kecepatan yang lebih cepat daripada yang dapat ditampung oleh lingkungan melalui penyebaran, penguraian, daur ulang, atau penyimpanan dalam beberapa bentuk yang tidak berbahaya. Jika lingkungan telah terkontaminasi dengan bahan pencemar dapat menyebabkan kerusakan struktural ataupun fungsional pada sistem lingkungan perairan dan akhirnya pada kesehatan manusia. Setiap aktivitas pembangunan (*urbanisasi*, industri, pertambangan dan pertanian) yang dilakukan oleh manusia akan menghasilkan kontaminan yang berdampak pada air permukaan dan air tanah (Vaessen & Brentfuhrer, 2015).

Standar Baku Mutu Kualitas Lingkungan (SBMKL) untuk air ini berlaku bagi seluruh rumah tangga yang menggunakan air mau itu dari air sumur maupun dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dalam memnuhi kebutuhan sehari-hari (Permenkes No.2 Tahun 2023). Berikut ini merupakan tabel parameter air untuk keperluan higiene dan sanitasi.

Tabel 2. 2 Parameter Air untuk Keperluan Higiene dan Sanitasi

No	Jenis Parameter	Kadar Maksimum	Satuan	Metode Pengujian
		yang Diperbolehkan		
Mikrobiologi				
1	<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	0	CFU/100 ml	SNI/APHA
2	Total Coliform	0	CFU/100 ml	SNI/APHA
Fisika				
3	Suhu	Suhu udara $\pm 3^\circ$	$^\circ\text{C}$	SNI/APHA
4	<i>Total Dissolved Solid</i>	<300	mg/l	SNI/APHA
5	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara
6	Warna	10	TCU	SNI/APHA
7	Bau	Tidak berbau	-	APHA
Kimia				
8	pH	6,5 – 8,5	-	SNI/APHA
9	Nitrat (sebagai $\text{NO}_3^-$ )	20	mg/l	SNI/APHA
10	Nitrit (sebagai $\text{NO}_2^-$ )	3	mg/l	SNI/APHA
11	Kromium valensi 6 ( $\text{Cr}^{6+}$ )	0,01	mg/l	SNI/APHA
12	Besi (Fe)	0,2	mg/l	SNI/APHA
13	Mangan (Mn)	0,1	mg/l	SNI/APHA

*Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023*

#### 2.4 Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Besi (Fe) adalah metal berwarna putih keperakan yang kebanyakan sukar larut di dalam tanah. Unsur besi terdapat hampir pada semua air tanah (Kurniawan, 2014). Besi merupakan salah satu zat kimia yang banyak ditemui disetiap tempat-tempat di bumi yaitu pada semua lapisan geologis yang ada di bumi serta semua badan air. Air tanah mengandung zat besi terlarut berbentuk  $\text{Fe}^{2+}$ , dan jika air tanah mengalami kontak dengan oksigen dengan cara dipompa maka besi akan teroksidasi menjadi  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (Laila, 2015). Dalam Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023, air sumur yang digunakan masyarakat untuk keperluan hygiene perorangan

atau kegiatan rumah tangga memiliki standar baku mutu yang telah ditetapkan. Kandungan zat besi pada air sumur masyarakat yang diperbolehkan yaitu tidak lebih dari 0,2 mg/L. Besi (Fe) dalam air dapat terlarut, tersuspensi atau bergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik (Febrina, 2015). Besi ditemukan dalam bentuk kation ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Menurut WHO (World Health Organization) jumlah kebutuhan zat besi yang harus dikonsumsi sebaiknya sesuai dengan jumlah zat besi yang dikeluarkan dalam tubuh (Qomariyah, 2018).

Mangan adalah logam berat bersifat esensial yang berfungsi membangun struktur tulang yang sehat, metabolisme tulang dan membantu menciptakan enzim. Mangan bersifat korosi jika melebihi batas sehingga mengakibatkan tubuh mudah terkena penyakit (Rusdiana 2016). Mangan (Mn) yaitu logam berwarna abu-abu putih. berupa unsur reaktif yang mudah menggabungkan dengan ion dalam air dan udara. Di bumi, mangan ditemukan dalam sejumlah mineral kimia yang berbeda dengan sifat fisiknya, tetapi tidak pernah ditemukan sebagai logam bebas di alam. Mangan dalam air berbentuk mangan bikarbonat ( $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ ), mangan klorida ( $\text{MnCl}_2$ ) dan mangan sulfat ( $\text{MnSO}_4$ ). Mangan bersifat korosi jika melebihi batas sehingga mengakibatkan tubuh mudah terkena penyakit (Awliahasanah et al. 2021). Kandungan mangan yang diperbolehkan atau sesuai dengan standar yang diperbolehkan adalah 0,1 mg/L. (Permenkes Nomor 2 Tahun 2023).

Besi (Fe) maupun mangan (Mn), dalam air biasanya terlarut dalam bentuk senyawa atau garam bikarbonat, garam sulfat, hidroksida dan juga dalam bentuk koloid atau dalam keadaan bergabung dengan senyawa organik (Permatasari, 2016). Cara pengolahannya pun harus disesuaikan dengan bentuk senyawa besi dan mangan dalam air yang akan diolah, sebab kandungan Fe dan Mn yang melebihi standar air baku jika digunakan untuk kehidupan sehari-hari dapat menyebabkan penyakit ginjal bila mengonsumsi air yang mengandung Fe dan Mn karena kandungan Fe dan Mn lama mengendap pada tubuh, biasanya terjadi pada jangka waktu yang lama, bila air yang mengandung Fe dan Mn (Candra 2018).

## 2.5 pH

Analisis pH (Derajat Keasaman) bertujuan untuk mengukur tingkat keasaman dan kebasaan air sumur. pH digunakan pada penentuan alkalinitas,  $\text{CO}_2$ , serta

dalam kesetimbangan asam basa. pH sangat penting sebagai parameter kualitas air karena pH berperan dalam mengontrol tipe dan laju kecepatan reaksi beberapa bahan di dalam air (Aji & Jailani, 2020). Monitoring pH seharusnya rutin dilakukan karena perubahan nilai pH dapat memengaruhi rasa, korosivitas air dan efisiensi klorinasi. Syarat baku mutu dari Permenkes No. 2 Tahun 2023 yaitu 6,5-8,5. Dalam penelitian ini, pH digunakan sebagai parameter pendukung untuk memahami bagaimana kondisi lingkungan mempengaruhi kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air tanah. Hubungan antara pH, Mn, dan Fe sangat erat karena pH mempengaruhi kelarutan, mobilitas, serta bentuk spesiasi besi dan mangan dalam air tanah.

## **2.6 Total Dissolve Solid (TDS)**

Total Dissolve Solid (TDS) adalah kandungan larutan non-organik dan organik yang berada di perairan secara alami mengandung beberapa jenis mineral dan gas dengan peranan menentukan kualitas air. Peningkatan kadar Total Dissolve Solid (TDS) di perairan disebabkan oleh kondisi perairan pada sekitar sumur mengalami pencemaran oleh limbah yang kemudian meresap dalam tanah dan mencemari sumur gali. Padatan terlarut dalam perairan memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan Total Suspended Solid (TSS). Tingginya kadar padatan terlarut dapat mengakibatkan gangguan pada kesehatan apabila bahan yang terlarut merupakan bahan non organik berbahaya (Citaningtyas, 2019). Menurut definisi, padatan yang terkandung dalam filtrate yang melewati filter dengan ukuran pori kurang dari 2,0  $\mu\text{m}$  digolongkan sebagai padatan terlarut (Tchobanoglous et al., 2003). Berikut ini merupakan klasifikasi dalam nilai atau kadar Total Dissolve Solid (TDS) adalah sebagai berikut

Tabel 2. 3 Klasifikasi Jumlah Padatan Terlarut

No	Nilai TDS(mg/L)	Klasifikasi Air
1	<100	Air lunak (soft water)
2	100-500	Air bersih (fresh water)
3	500-1.000	Air sadah karbonat (carbonat hardness water)
4	1000-2.000	Air sadah non karbonat (non carbonat hardness water)
5	2000-10.000	Air payau (braekish water)
6	10.000-100.000	Air asin (saline water)
7	>100.000	Air garam (brine water)

*Sumber : Mukarromah, 2016*

Nilai Total Dissolve Solid (TDS) tinggi biasanya berhubungan dengan peningkatan konsentrasi logam berat seperti Fe dan Mn, karena zat-zat ini termasuk dalam golongan ion terlarut. TDS tidak bersifat toksik secara langsung, namun nilai yang tinggi dapat memengaruhi rasa, warna, dan kejernihan air, serta menunjukkan adanya potensi pencemaran. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, batas maksimum Total Dissolve Solid untuk keperluan higiene dan sanitasi adalah 300 mg/L. Nilai TDS > 500 mg/L juga dapat memicu kerusakan sistem perpipaan dan memengaruhi kesehatan manusia secara tidak langsung.

## 2.7 Daya Hantar Listrik (DHL)

Daya hantar listrik (DHL) adalah kemampuan suatu zat untuk menghantarkan arus listrik dengan satuan mikrosiemen per sentimeter ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Kemampuan ini tergantung keberadaan ion, total konsentrasi ion, valensi konsentrasi relatif ion dan suhu saat pengukuran. Makin tinggi konduktivitas dalam air, maka air akan terasa payau sampai asin. Besarnya nilai daya hantar listrik digunakan sebagai indikator tingkat kesuburan perairan. Tingginya daya hantar listrik menandakan banyaknya jenis bahan organik dan mineral yang masuk sebagai limbah ke perairan. Standar baku mutu air tanah untuk nilai daya hantar listrik (DHL) adalah 20 - 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Ruseffandi & Gusman, 2020). Semakin banyak air mengandung garam terlarut,

maka menyebabkan nilai daya hantar listriknya semakin tinggi, sehingga daya hantar listrik juga mencerminkan jumlah zat padat terlarut.

## **2.8 Dampak Kesehatan**

Air yang mengandung kadar besi tinggi akan menimbulkan rasa, bau logam yang amis pada air, warna kecoklatan pada pakaian yang dicuci dengan air yang mengandung kadar besi tinggi dan timbulnya masalah perpipaan yang disebabkan oleh pengendapan besi pada dinding perpipaan. Logam besi (Fe) ataupun mangan (Mn) dalam air sumur apabila dikonsumsi secara terus menerus dapat menyebabkan masalah pada sistem pernafasan, seperti lemas, batuk, sesak nafas, ronchopneumonia, edema, paru, cyanosis dan methemoglobinemia (Sunarsih et al., 2018).

Besi dibutuhkan oleh tubuh dalam pembentukan hemoglobin. Banyaknya Fe di dalam tubuh dikendalikan pada fase absorbsi Zat Fe yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Hal ini dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mengekskresikan Fe, sehingga bagi mereka yang sering mendapatkan transfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi Fe. Kandungan zat besi yang terdapat dalam sumber seperti dalam air tanah, dalam jumlah yang berlebih harus dikurangi untuk menghindari dampak negatif yang ditimbulkan kegunaannya (Nugroho dkk, 2014). Air yang mengandung Fe tinggi sering kali menyebabkan iritasi kulit, terutama bagi orang dengan kulit sensitif atau penderita dermatitis.

Mangan (Mn) dalam air tidak menimbulkan gangguan kesehatan, melainkan bermanfaat dalam menjaga kesehatan otak dan tulang, berperan dalam pertumbuhan rambut dan kuku, serta membantu menghasilkan enzim untuk metabolisme tubuh untuk mengubah karbohidrat dan protein membentuk energi yang akan digunakan. Tetapi dalam jumlah yang besar ( $>0,1\text{mg/l}$ ) berdasarkan Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Mangan (Mn) dalam air minum bersifat neurotoksik, gejala yang timbul untuk mangan (Mn) berupa gejala susunan syaraf, insomnia, kemudian lemah pada kaki dan otot muka sehingga ekspresi muka menjadi beku dan muka tampak seperti topeng.

## 2.9 Sistem Informasi Geografis (GIS)

Geographic Information System (GIS) merupakan sistem yang berbasis komputer yang terdiri dari perangkat keras (hardware), lunak (software), dan prosedur yang dapat digunakan untuk menyimpan, menganalisis dan memanipulasi informasi geografis, terdapat lima komponen yang harus ada dalam sebuah sistem informasi yaitu perangkat keras (hardware), perangkat lunak (software), informasi geografis berupa data spasial (spatial data), prosedur yang dijalankan (methods), dan manusia yang menjalankan sistem tersebut. (Hidayat F.N. et al, 2014). Teknologi GIS mengintegrasikan operasi-operasi umum database, seperti query dan analisis statistik, dengan kemampuan visualisasi dan analisa unik yang dimiliki oleh pemetaan. Kemampuan inilah yang membedakan sistem informasi lainnya yang membuatnya menjadi berguna bagi berbagai kalangan untuk menjelaskan kejadian, merencanakan strategi, dan memprediksi apa yang terjadi. (Setyawan D A, 2014).

- Interpolasi Spasial

Analisis interpolasi spasial digunakan untuk menentukan perwakilan dan prediksi sebaran polutan pada air tanah yang dipantau. Dalam penelitian ini, interpolasi spasial digunakan untuk memetakan distribusi kadar besi (Fe) dalam air tanah di wilayah Kemantren Kraton, Yogyakarta. Dengan teknik ini, dapat diperoleh gambaran sebaran konsentrasi Fe di seluruh area penelitian, meskipun pengukuran hanya dilakukan di beberapa titik tertentu. Metode interpolasi yang digunakan dalam penelitian ini akan membantu dalam menganalisis pola penyebaran pencemaran besi dan menentukan area yang memiliki tingkat kerentanan lebih tinggi terhadap kontaminasi. Hasil interpolasi akan divisualisasikan dalam bentuk peta spasial yang memberikan representasi grafis mengenai distribusi kadar Fe berdasarkan hasil analisis laboratorium. Peta ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengelolaan kualitas air tanah serta dalam upaya mitigasi pencemaran besi di wilayah penelitian. Terdapat beberapa jenis interpolasi yang bisa digunakan, diantaranya :

1. Interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW)

Metode Inverse Distance Weighted (IDW) merupakan suatu metode yang memiliki asumsi bahwa pada setiap titik input dapat berpengaruh pada sifat lokal yang berkurang terhadap jarak. Interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW) dapat

menyesuaikan pengaruh relatif dari titik sampel dan memiliki nilai power 11 yang dapat menentukan pengaruh terhadap titik-titik masukan (input). Metode interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW) umumnya dipengaruhi oleh inverse jarak yang didapatkan dari persamaan matematika.

## 2. Interpolasi kringing

Metode ini ditemukan oleh D.L. Krige untuk memperkirakan bahan tambang, dari asumsi metode ini jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial dalam hasil interpolasi dan menggunakan kombinasi linear dan weight untuk memperkirakan nilai diantara sampel dan data. Metode ini tidak dapat menampilkan nilai puncak yang berubah drastis dalam jarak yang lebih dekat.

## 3. Interpolasi Spline

Metode ini merupakan metode spasial yang mengestimasi nilai yang dapat meminimalisir total kelengkungan. Metode ini baik digunakan untuk membuat ketinggian seperti permukaan bumi, ketinggian muka air tanah dan konsentrasi polusi udara. Metode Spline tidak dapat bekerja dengan baik, karena dalam perhitungan menggunakan slope yang berubah berdasarkan jarak untuk memperkirakan bentuk dari permukaan dan permukaan yang dihasilkan tepat melewati titik-titik sampel.

- Analisis Statistik

Analisis statistik dalam penelitian ini berperan penting dalam menginterpretasikan data kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air tanah serta memahami hubungan antarvariabel yang berkontribusi terhadap kerentanan kualitas air tanah. Langkah pertama dalam analisis ini adalah menggunakan statistik deskriptif untuk melihat karakteristik data, seperti rata-rata, median, standar deviasi, dan sebaran nilai parameter Fe, Mn, serta pH. Selanjutnya, analisis korelasi Pearson akan digunakan untuk mengetahui hubungan antara Fe, Mn, dan pH, sehingga dapat mengidentifikasi apakah terdapat keterkaitan yang signifikan antar parameter tersebut. Untuk memahami faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap kadar Fe dan Mn, analisis regresi linier dapat diterapkan guna menguji pola hubungan antara variabel dependen (Fe dan Mn) dengan variabel independen yang relevan. Selain itu, uji normalitas dan homogenitas varians juga akan dilakukan untuk memastikan data memenuhi asumsi statistik sebelum dilakukan

analisis lebih lanjut. Data hasil analisis laboratorium kemudian akan dikombinasikan dengan teknik interpolasi spasial menggunakan GIS, yang bertujuan untuk memetakan distribusi spasial Fe dan Mn di wilayah penelitian. Hasil dari pemetaan ini akan memberikan gambaran visual mengenai tingkat kerentanan kualitas air tanah di Kemanten Kraton, Yogyakarta, sehingga dapat menjadi dasar dalam pengelolaan dan mitigasi pencemaran air tanah di daerah tersebut.

## **2.10 Spektrofotometri**

Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) adalah metode analisis yang digunakan untuk menentukan kadar logam dalam sampel air dengan mengukur serapan cahaya oleh atom unsur tersebut. Berdasarkan SNI 06-6989.4-2004 untuk besi (Fe) dan SNI 6989.5:2009 untuk mangan (Mn), metode SSA-nyala digunakan dengan memanfaatkan nyala udara-asetilen untuk mengubah ion logam dalam sampel menjadi atom netral. Atom-atom ini kemudian menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, yaitu 248,3 nm untuk Fe dan 279,5 nm untuk Mn, yang berasal dari lampu katoda berongga (HCL). Intensitas cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi unsur dalam sampel, sehingga kadar logam dapat dihitung berdasarkan kurva kalibrasi yang dibuat dari larutan standar. Penggunaan spektrofotometer diatur untuk memastikan bahwa prosedur pengujian dilakukan secara konsisten dan hasil yang diperoleh dapat optimal (Badan Standardisasi Nasional, 2020).

## **2.11 Penelitian Terdahulu**

Penelitian mengenai kualitas air tanah telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan, baik dari segi analisis parameter fisika dan kimia, metode pengolahan data, hingga pemetaan spasial. Kajian terkait pencemaran besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air tanah menjadi salah satu aspek penting dalam evaluasi kualitas air, terutama di wilayah yang memiliki potensi pencemaran akibat aktivitas antropogenik maupun faktor geologi. Dalam penelitian ini, dilakukan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian, khususnya yang berkaitan dengan pencemaran besi (Fe) dan mangan (Mn), metode analisis statistik, serta teknik interpolasi spasial dalam pemetaan kualitas air tanah.

Tabel berikut menyajikan ringkasan dari penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penyusunan penelitian ini.

Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu

No	Nama penulis	Judul penelitian	Metode	Kesimpulan
1	Auliyah Warsyidah et al. (2019)	Analisis kadar mangan (mn) pada air alkali dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (ssa)	Spektrofotometer serapan atom (SSA)	Penelitian tersebut menggunakan SSA untuk mendeteksi kadar Mangan (Mn) dalam air alkali dan menunjukkan bahwa metode ini sensitif dalam mengukur Mn pada konsentrasi rendah. Dengan demikian, penelitian ini mendukung validitas penggunaan SSA dalam mengukur Mn, sebagaimana diterapkan dalam penelitian ini terhadap air tanah.
2	Femi Earnestly et al. (2022)	ANALISA pH, Fe, Mn Pada Sumber Air Panti Asuhan Aisyiyah Koto Tengah	Spektrofotometer serapan atom (SSA)	Hasilnya menunjukkan bahwa salah satu sumur memiliki kadar Fe yang melebihi ambang batas, sementara Mn masih dalam batas aman. Penelitian ini menunjukkan penggunaan SSA yang efektif dalam mendeteksi logam berat dalam air tanah, serupa dengan metode yang digunakan dalam penelitian ini.
3	Sri Pina Ariyanti et al. (2020)	Analisis Kandungan Logam Berat pada Air Sumur Gali Dusun IV Desa Poasaa Kabupaten Konawe	Purposive sampling yaitu teknik atau metode yang penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa titik sumur memiliki kadar logam berat yang melebihi baku mutu, terutama pada sumur dengan konstruksi tidak saniter atau berdekatan dengan sumber pencemar. Penggunaan SSA dalam penelitian ini memberikan

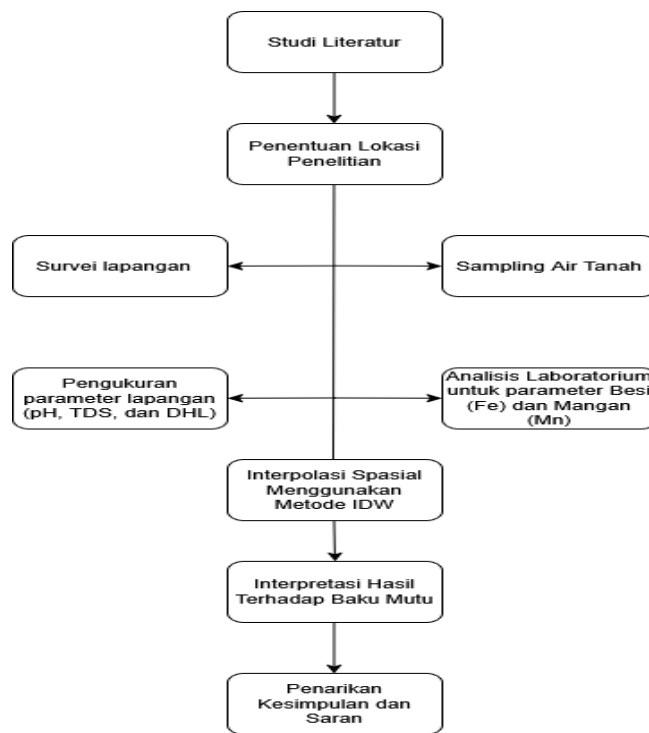
No	Nama penulis	Judul penelitian	Metode	Kesimpulan
				gambaran tentang keandalan metode tersebut dalam mengukur konsentrasi logam pada air tanah dangkal.
4	Arrizal Suryadirja et al. (2021)	Penetapan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Tanah Pemukiman Di Sekitar Setu Pedongkelan Depok	Spektrofotometri	Penelitian yang dilakukan menegaskan pentingnya pengawasan kualitas air sumur bor, terutama terhadap parameter logam berat. Selain itu, penggunaan SSA sebagai alat ukur logam berat menjadikan penelitian ini relevan secara metodologis dengan penelitian yang sedang dilakukan, karena penelitian ini juga menggunakan SSA untuk menganalisis konsentrasi Fe dan Mn dalam air tanah. Meskipun lokasi dan konteks geografisnya berbeda, pendekatan dan hasil yang diperoleh dari penelitian ini mendukung pentingnya analisis laboratorium terstandar dalam evaluasi kualitas air bawah tanah.
5	Muhammad Al Khuwarizmi (2023)	Analisis Spasial Kualitas Air Tanah Berdasarkan Parameter Logam Berat Di Kecamatan Depok, Sleman	Metode Inverse Distance Weighting (Idw) dan SSA untuk analisis laboratorium	Konsentrasi parameter Fe yang terdapat pada air sumur di rentang 0,0422 – 0,996 mg/l, konsentrasi Fe tertinggi terdapat pada SD 6 yaitu 0,996 mg/l. Hasilnya menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar parameter logam masih berada di bawah ambang batas, terdapat titik-titik yang berpotensi mengalami akumulasi logam berat, sehingga tetap diperlukan pemantauan berkala.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Kerangka Studi/Penelitian/Perencanaan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran spasial dan hubungan konsentrasi logam berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn) terhadap kerentanan kualitas air tanah di wilayah Kemantren Kraton, Yogyakarta. Penelitian ini mengombinasikan metode pengukuran lapangan dan laboratorium, dengan analisis statistik serta pemetaan spasial menggunakan metode interpolasi IDW (Inverse Distance Weighting).



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

#### 3.2 Pengumpulan Data

##### 3.2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah Kemantren Kraton, Kota Yogyakarta, yang terdiri dari kelurahan Panembahan, Kadipaten, Patehan, dan Mantrijeron. Pengambilan sampel dilakukan dari 11 titik sumur gali, berdasarkan penyebaran

geografis dan data yang didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta. Waktu pelaksanaan penelitian adalah Bulan Maret–Juli Tahun 2025.

#### 4.2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan diantaranya :

- 11 Botol Steril 300 ml

Untuk pengambilan sampel air tanah atau air sumur di Kecamatan Kraton Yogyakarta memerlukan satu botol untuk setiap titik pengambilan sampel pada pengerjaan penelitian ini. Sehingga untuk jumlah botol yang dijadikan wadah atau media untuk mengambil air tanah adalah sebanyak 11 botol.



Gambar 3. 2 Botol sampel air tanah

- Kertas Lakmus

Kertas lakmus yang digunakan akan menunjukkan rentang nilai atau derajat keasaman air tanah pada rentang 0-14. Pada pengukurannya, jika angka pH berada di angka 7 maka bisa dibilang pH netral. Angka atau nilai yang berada dibawah 7 maka disebut asam. Angka atau nilai yang berada diatas 7 maka disebut basa.



Gambar 3. 3 Kertas lakmus

- TDS meter

TDS meter merupakan alat yang dirancang khusus untuk mengukur jumlah total senyawa terlarut dalam air. Alat ini bekerja dengan prinsip konduktivitas listrik. Semakin banyak senyawa terlarut dalam air, semakin tinggi konduktivitasnya. Dalam pengujian, TDS meter akan mengukur konduktivitas air dan kemudian mengkonversinya menjadi nilai TDS yang dapat dibaca. Setelah didapatkan nilai dari pengujiannya, selanjutnya akan diperiksa berdasarkan standar baku mutu lingkungan yaitu Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023.



Gambar 3. 4 TDS meter

- EC meter

EC meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur daya hantar listrik (DHL) atau konduktivitas larutan air, yang menunjukkan

seberapa baik air menghantarkan arus listrik akibat adanya ion-ion terlarut di dalamnya. EC meter bekerja berdasarkan prinsip penghantaran listrik antara dua elektroda yang dicelupkan ke dalam sampel air, dan hasil pengukurannya biasanya ditampilkan dalam satuan mikrosiemens per sentimeter ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



Gambar 3. 5 EC Meter

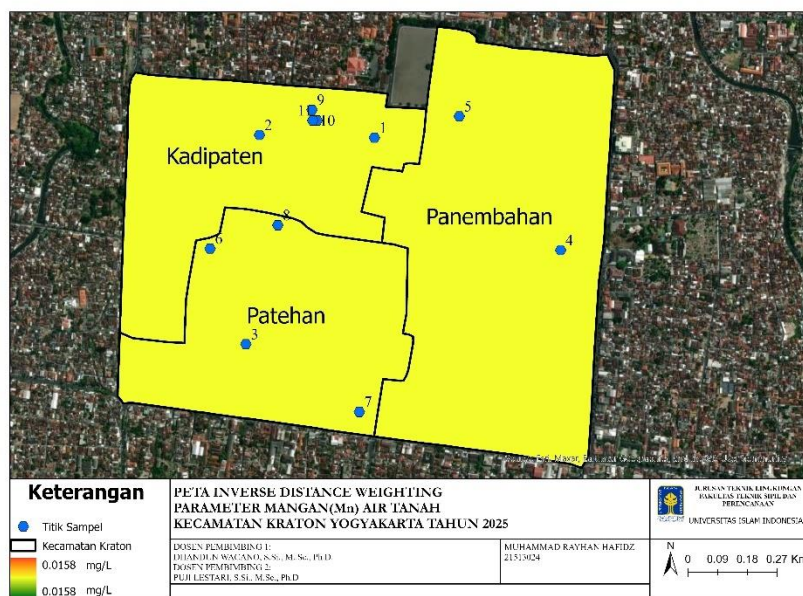
- Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)  
Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah alat yang digunakan di laboratorium untuk pembacaan nilai konsentrasi parameter yang menjadi fokus pada penelitian ini yaitu besi (Fe) dan mangan (Mn). Pengujian yang dilakukan menggunakan SSA ini akan menghasilkan nilai konsentrasi dan absorban dari Fe dan Mn pada masing-masing titik sampling yang diujikan.



Gambar 3. 6 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

- Laptop
- Software GIS seperti ARCGIS PRO

Penggunaan Arcgis Pro pada penelitian ini adalah sebagai bentuk interpretasi dari salah satu metode yang digunakan yaitu IDW. Arcgis Pro digunakan untuk menampilkan pola persebaran titik lokasi sampling terkait Fe dan Mn.



Gambar 3. 7 Peta menggunakan Arcgis Pro

- Excel

Excel merupakan software yang digunakan dalam penelitian ini. Penggunaan excel sebagai software adapun peruntukannya adalah untuk pengujian nilai LOD, nilai LOQ, slope, intercept dan untuk mengetahui korelasi antar masing-masing parameter dengan penggunaan grafik.

Titik	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	pH	TDS(mg/L)	DHL( $\mu\text{S/cm}$ )
T1	0,1108	0,0158	7	212	0,363
T2	0,1076	0,0158	6	168	0,25
T3	0,1233	0,0158	6	244	0,525
T4	0,0809	0,0158	6	292	0,433
T5	0,1202	0,0158	6	224	0,328
T6	0,0809	0,0158	6	297	0,405
T7	0,0809	0,0158	6	156	0,471
T8	0,0809	0,0158	6	256	0,503
T9	0,0809	0,0158	7	209	0,397
T10	0,0809	0,0158	6	267	0,424
T11	0,0809	0,0158	6	244	0,389

Nomor	Hubungan	Correl(R)	R2
1	Fe dan Mn	-1,40314E-15	1,969E-30
2	Fe dan pH	0,065598432	0,0043032
3	Fe dan TDS	-0,284984962	0,0812164
4	Fe dan DHL	-0,266810603	0,0711879
5	Mn dan pH	-4,18691E-16	1,753E-31
6	Mn dan TDS	-2,97431E-16	8,847E-32
7	Mn dan DHL	1,82309E-15	3,324E-30
8	pH dan TDS	-0,250113869	0,0625569
9	pH dan DHL	-0,176607188	0,0311901
10	TDS dan DHL	0,348315838	0,1213239

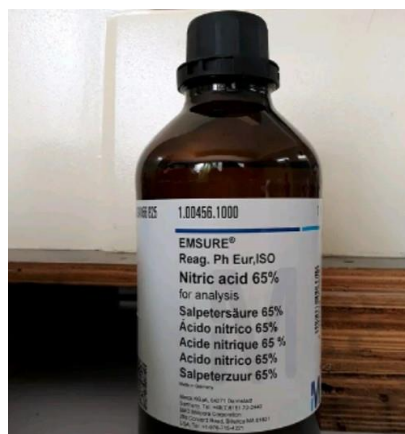
HASIL PENGUKURAN	GRAFIK DAN NILAI CORREL	Kekuatan Hubungan	+
------------------	-------------------------	-------------------	---

Gambar 3. 8 Tampilan Excel

Bahan yang digunakan diantaranya :

- Larutan HNO<sub>3</sub>

Larutan HNO<sub>3</sub> digunakan untuk pengawetan sampel air tanah yang telah diambil. Sebelum parameter Besi (Fe) dan Mangan (Mn) diujikan menggunakan Spektrofotometer, setiap masing-masing sampel air tanah ditambahkan larutan HNO<sub>3</sub> untuk pengawetan, kemudian baru dibaca menggunakan Spektrofotometer.



Gambar 3. 9 Larutan HNO<sub>3</sub>

- Aquadest

Aquadest atau air suling disini digunakan untuk membilas setiap sampel yang diujikan untuk mengetahui konsentrasi nilai TDS dan DHL.

### 3.2.3 Parameter yang Diamati

Berikut ini merupakan parameter yang diamati dalam pengerjaan penulisan ini.

Tabel 3. 1 Parameter dalam penelitian

Parameter	Kategori	Metode	Standar Acuan
Besi (Fe)	Kimia	SSA	SNI 06-6989.4-2004
Mangan (Mn)	Kimia	SSA	SNI 6989.5:2009
pH	Fisik-Kimia	pH meter	Permenkes No.2 Tahun 2023
TDS	Fisika	Conductivity meter	Permenkes No.2 Tahun 2023
DHL	Fisika	Conductivity meter	WHO,EPA, dan Literatur Ilmiah

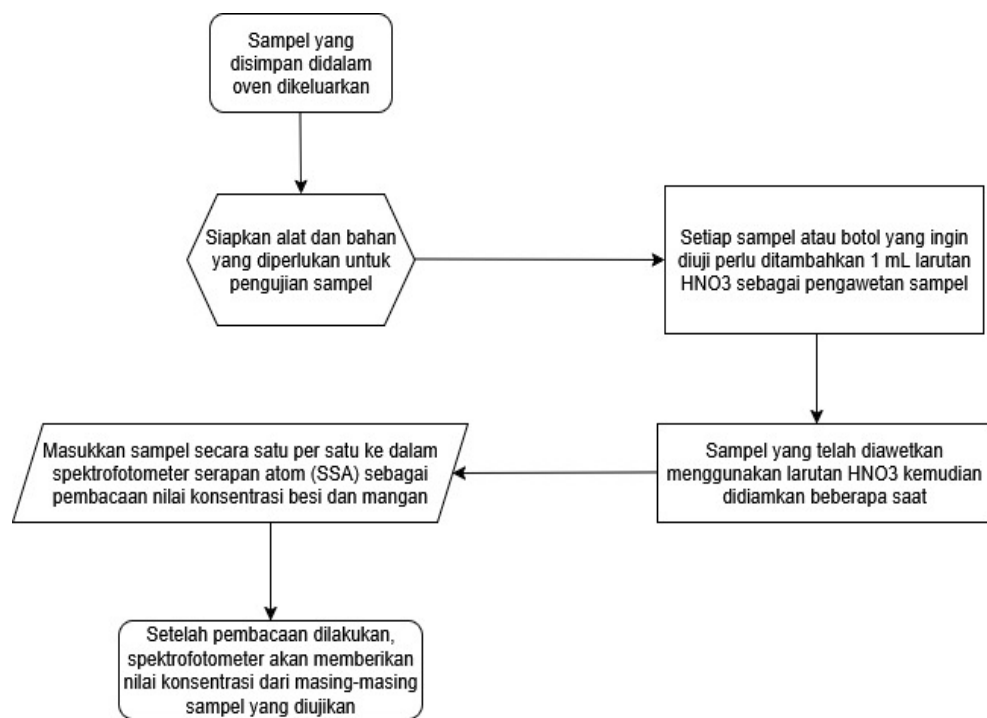
### 3.2.4 Prosedur Pengambilan dan Pengujian Sampel

Pengambilan sampel air tanah menggunakan dua pendekatan yang berbeda. Pendekatan pertama untuk pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan air kran. Prinsipnya yaitu botol yang digunakan sebagai wadah air tanah tersebut akan ditampung airnya setelah kran dalam keadaan terbuka. Pendekatan kedua untuk pengambilan sampel air tanah dilakukan dengan cara menimba air sumur. Pengambilan ini hanya dilakukan pada dua titik lokasi terakhir, yaitu sumur warga

untuk titik 10 dan titik 11. Secara prinsip, air tanah yang ingin diambil perlu ditimba terlebih dahulu menggunakan ember yang dijadikan sebagai alat dalam pengambilan air sumur di lokasi sumur warga. Setelah ember sudah terisi sesuai kebutuhan yang diperlukan, kemudian ember yang sudah terisi air tersebut dipindahkan ke botol atau wadah untuk sampel yang akan diujikan di laboratorium. Pengujian beberapa parameter dilakukan di laboratorium dan ada juga yang diujikan di lokasi penelitian.

- Pengujian Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Pengujian untuk parameter besi (Fe) dilakukan di laboratorium dengan menggunakan acuan yang ada oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu SNI 06-6989.4-2004. Standar Nasional Indonesia ini memberikan gambaran terkait tahapan-tahapan yang dilakukan untuk pengujian parameter ini. Parameter ini diujikan menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA). Berikut ini merupakan alur untuk pengujian besi (Fe).

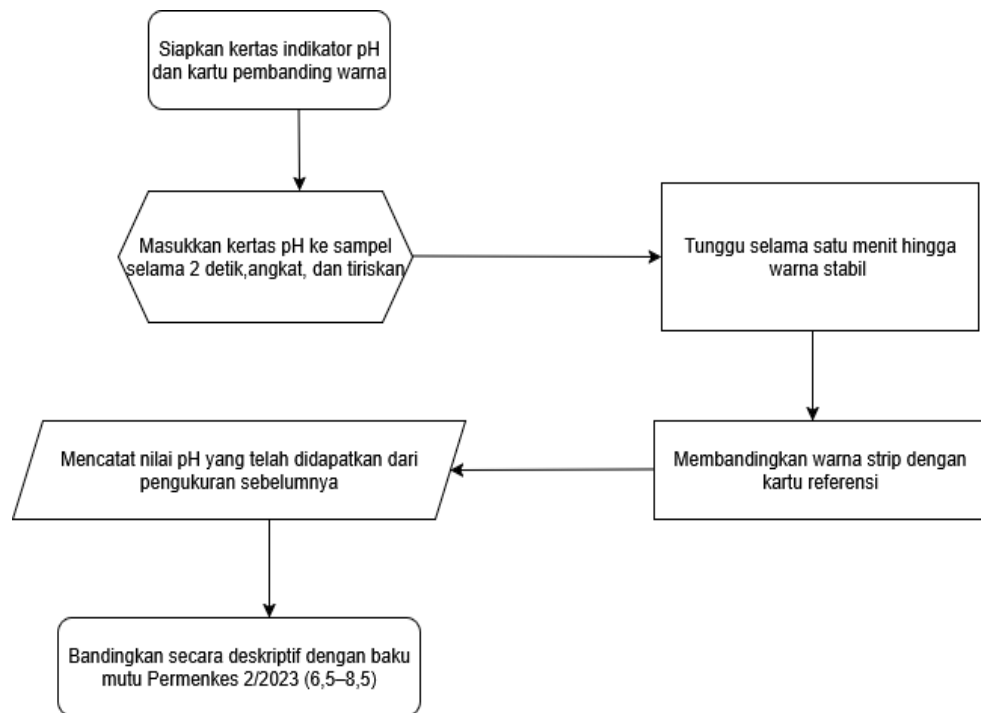


Gambar 3. 10 Prosedur Uji Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

- Pengujian pH

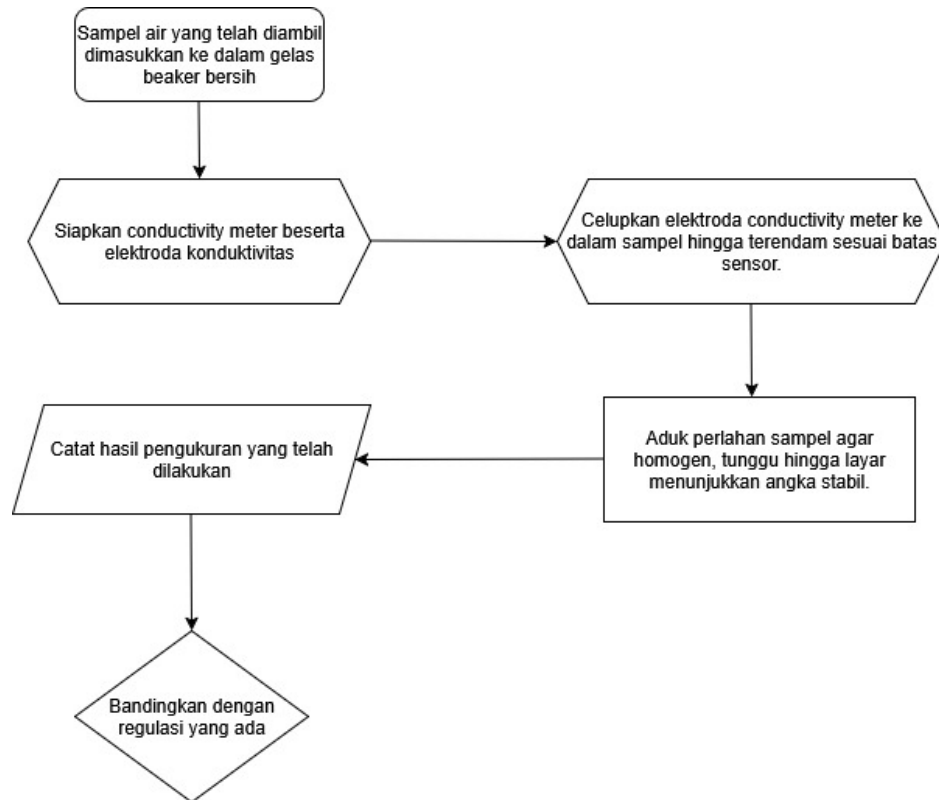
Pengukuran pH pada penelitian ini dilakukan secara indikatif menggunakan kertas indikator pH (strip pH) di lapangan. Metode ini ditujukan untuk skrining cepat kondisi keasaman/kebasaan sampel saat pengambilan. Hasil

pH yang diperoleh kemudian dibandingkan secara deskriptif dengan baku mutu pH air minum menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023, yaitu 6,5–8,5. Perlu dicatat bahwa pengukuran dengan kertas indikator tidak mengikuti SNI 6989.11 (metode elektrometri) dan memiliki ketelitian terbatas (tipikal resolusi 0,5–1,0 satuan pH, tergantung produk); karenanya hasil dilaporkan sebagai nilai indikatif, bukan uji kepatuhan formal. Berikut ini adalah alur pengujian pH.



Gambar 3. 11 Prosedur Uji pH

- Pengujian Daya Hantar Listrik (DHL) dan *Total Dissolved Solid* (TDS)  
 Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui konsentrasi Daya Hantar Listrik dan *Total Dissolved Solid* menggunakan satu alat yang sama di laboratorium. Alat yang digunakan memang bernama Conductivity meter, akan tetapi parameter yang bisa diukur menggunakan alat tersebut tidak hanya *Total Dissolved Solid*. Parameter yang bisa diukur diantaranya *Total Dissolved Solid*, Daya Hantar Listrik, Salinitas, dan Kekeruhan. Berikut ini adalah prosedur yang dilakukan dalam penggunaan alat untuk mengukur nilai Daya Hantar Listrik dan *Total Dissolved Solid*.



Gambar 3. 12 Prosedur Uji Daya Hantar Listrik dan *Total Dissolved Solid*

Pengujian laboratorium terhadap parameter besi (Fe), mangan (Mn), pH, TDS, dan DHL pada penelitian ini dilakukan satu kali (single measurement) tanpa duplo maupun triplo. Pertimbangan utama penggunaan metode pengujian tunggal adalah karena penelitian ini berfokus pada memperoleh gambaran awal (screening) kualitas air tanah, sehingga data yang dihasilkan lebih diarahkan pada deskriptif kondisi lapangan daripada uji kontrol mutu yang bersifat kuantitatif mendalam. Dari sisi jaminan mutu, pengukuran tunggal tetap dapat dipertanggungjawabkan karena instrumen yang digunakan (spektrofotometer, pH meter, dan conductivity meter) telah melalui prosedur kalibrasi serta pengendalian mutu internal laboratorium. Selain itu, parameter yang diuji termasuk parameter dasar dengan metode pengujian yang sudah terstandarisasi, sehingga memiliki tingkat ketelitian yang dapat diandalkan meskipun tanpa pengulangan. Keterbatasan waktu, biaya, serta ketersediaan sampel juga menjadi pertimbangan teknis dalam pelaksanaan analisis. Walaupun demikian, hasil yang diperoleh tetap relevan dan representatif untuk mendukung tujuan penelitian ini, terutama ketika dikombinasikan dengan data sekunder sebagai bahan pembanding.

### **3.3 Analisis Data**

#### **3.3.1 Analisis Statistik**

Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah bivariate analysis, yaitu analisis untuk melihat hubungan antara dua variabel secara berpasangan. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara parameter kualitas air tanah yang bersifat fisik (pH, TDS, dan DHL) terhadap konsentrasi logam berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn). Pasangan variabel yang dianalisis meliputi:

- Fe dengan Mn
- Fe dengan pH
- Fe dengan TDS
- Fe dengan DHL
- Mn dengan pH
- Mn dengan TDS
- Mn dengan DHL
- pH dengan TDS
- pH dengan DHL
- TDS dengan DHL

Uji statistik yang digunakan adalah korelasi Pearson, yang menunjukkan arah dan kekuatan hubungan antar parameter. Bila ditemukan korelasi yang signifikan ( $p\text{-value} < 0,05$ ), maka dilanjutkan dengan analisis regresi linier sederhana untuk mengetahui pola pengaruh antar variabel. Seluruh pengolahan data dilakukan menggunakan Microsoft Excel

#### **4.3.2 Analisis Spasial**

Analisis spasial dilakukan untuk mengetahui persebaran konsentrasi parameter kualitas air tanah di wilayah Kecamatan Kraton secara visual menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Data koordinat geografis dari setiap titik pengambilan sampel beserta nilai parameter yang diukur diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS atau QGIS. Metode interpolasi yang digunakan adalah Inverse Distance Weighting (IDW) karena sesuai untuk jumlah

titik yang terbatas dan mampu menggambarkan variasi nilai parameter berdasarkan jarak antar titik. Hasil dari analisis ini berupa peta sebaran spasial untuk parameter Fe, Mn, pH, TDS, dan DHL, yang digunakan untuk mengidentifikasi area dengan potensi kerentanan terhadap pencemaran air tanah.

### **3.3.3 Interpretasi terhadap Baku Mutu**

Hasil pengujian setiap parameter dibandingkan dengan baku mutu kualitas air tanah yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 2 Tahun 2023. Untuk parameter Fe, Mn, pH, dan TDS, hasil dibandingkan langsung dengan nilai ambang batas. Karena belum ada baku mutu nasional untuk Daya Hantar Listrik (DHL), maka digunakan acuan dari literatur atau jurnal ilmiah yang menyebutkan bahwa standar baku mutu air tanah untuk nilai daya hantar listrik (DHL) adalah 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Ruseffandi & Gusman, 2020). Interpretasi terhadap baku mutu ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik-titik dengan nilai parameter melebihi ambang batas dan menilai tingkat kerentanan kualitas air tanah di wilayah penelitian.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Deskripsi Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah administratif Kemantren Kraton, yang terletak di bagian selatan Kota Yogyakarta dan terdiri atas empat kelurahan, yaitu Panembahan, Patehan, Kadipaten, dan Mantriijeron. Kawasan ini dikenal sebagai pusat budaya dan permukiman padat dengan tingkat aktivitas sosial, ekonomi, dan pariwisata yang cukup tinggi. Kepadatan penduduk dan aktivitas antropogenik yang intensif di kawasan ini menjadikan air tanah sebagai sumber utama untuk memenuhi kebutuhan domestik masyarakat, terutama melalui sumur gali dan sumur bor.

Pengambilan sampel air tanah dilakukan di 11 titik lokasi yang tersebar secara strategis di seluruh wilayah Kemantren Kraton. Pemilihan titik dilakukan berdasarkan pertimbangan variasi penggunaan lahan, kepadatan permukiman, potensi pencemaran dari aktivitas manusia, serta kemudahan akses untuk pengambilan sampel. Setiap titik sampel mewakili kondisi lingkungan yang berbeda, baik dari segi jenis fasilitas (sekolah, pasar, rumah warga, kantor pemerintahan, dan ruang terbuka hijau) maupun dari potensi resiko pencemaran terhadap air tanah.



Gambar 4. 1 Peta Wilayah Kecamatan Kraton

Berikut ini merupakan tabel dari identitas dan titik sumur di lokasi pengambilan sampel.

Tabel 4. 1 Identitas dan Titik Sumur di Titik Pengambilan Sampel

Nomor	Titik Lokasi	Jenis Sumur	Kedalaman (m)	Umur Sumur	Sumber Air Tambahan
1	Kantor Kemantren	Sumur Bor	10	>20 tahun	PDAM
2	SDN Kraton	Sumur Bor	10	>20 tahun	PDAM
3	SMPN 16 Yogyakarta	Sumur Bor	>20	>50 tahun	PDAM
4	SDN Panembahan	Sumur Gali	<10	20 tahun	PDAM
5	SDN Keputran 1	Sumur Bor	10	>20 tahun	PDAM
6	SDN Keputran 2	Sumur Bor	15	>50 tahun	PDAM
7	SDN Keputran A	Sumur Bor	15	>20 tahun	-
8	Pasar Ngasem	Sumur Bor	10	>20 tahun	PDAM
9	RTHP Rotowijayan	Sumur Gali	12	>100 tahun	-
10	Sumur Warga 1	Sumur Bor	12	>100 tahun	-
11	Sumur Warga 2	Sumur Bor	12	>100 tahun	-

*Sumber : Data Primer, 2025*

Pengambilan sampel dimulai dari Kantor Kecamatan Kraton dan titik lokasi terakhir pengambilan sampel adalah sumur warga di RTHP. Untuk rincian atau penjelasan titik lokasi pengambilan sampel adalah sebagai berikut.

- Titik 1 (Kantor Kecamatan Kraton)

Titik pertama pengambilan sampel berada di area Kantor Kemantren Kraton, yang merupakan fasilitas pemerintahan dengan aktivitas harian berskala sedang. Sumber air tanah yang digunakan berasal dari sumur bor yang telah berumur sekitar  $\pm 20$  tahun. Sumur ini memiliki kedalaman  $\pm 10$  meter dan saat ini tidak lagi digunakan untuk kebutuhan konsumsi atau kebersihan, melainkan hanya dimanfaatkan untuk menyiram tanaman dan kebutuhan non-domestik lainnya. Untuk keperluan air bersih sehari-hari, kantor ini telah beralih menggunakan sambungan PDAM sebagai sumber utama. Sumur berada di area halaman terbuka dengan jarak septic tank sekitar 10 meter dari lokasi pengeboran. Meskipun penggunaan air tanah sangat terbatas, keberadaan sumur lama dan potensi interaksi dengan septic tank di sekitarnya tetap memberikan relevansi terhadap studi kualitas air tanah, khususnya dalam mengamati residu logam berat dan parameter kimia lainnya. Meskipun wilayah ini menggunakan sambungan PDAM, air tanah tetap tersedia dan berpotensi terpengaruh oleh kondisi drainase lokal.

- Titik 2 (SDN Kraton)

Titik kedua berada di lingkungan Sekolah Dasar Negeri (SDN) Kraton Yogyakarta, yang memanfaatkan sumur bor sebagai salah satu sumber utama air bersih. Sumur ini memiliki kedalaman sekitar 10 meter dan telah digunakan selama lebih dari 20 tahun, menandakan adanya kemungkinan akumulasi kontaminan dari lingkungan sekitar seiring waktu. Air dari sumur ini digunakan untuk berbagai keperluan domestik, seperti mencuci, memasak, dan konsumsi air minum bagi warga sekolah. Selain sumur bor, sekolah ini juga memanfaatkan sambungan PDAM sebagai sumber air tambahan, khususnya pada jam-jam sibuk atau ketika pasokan air tanah berkurang. Lingkungan sekolah memiliki sistem sanitasi berupa septic tank dengan jarak sekitar 10 meter dari sumur, serta saluran pembuangan limbah cair (grey water) yang berjarak serupa dan dialirkan menuju sistem sewerage kota.

Meskipun sistem pembuangan relatif tertutup, jarak yang cukup dekat dengan sumur dan intensitas penggunaan air yang tinggi menjadikan titik ini penting untuk dievaluasi dalam konteks potensi pencemaran air tanah.

Titik 3 (SMPN 16 Yogyakarta)

Titik ketiga berlokasi di lingkungan Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 16 Yogyakarta, yang memiliki luas bangunan mencapai sekitar 2.970 m<sup>2</sup>. Sumber air tanah di sekolah ini berasal dari sumur bor yang telah digunakan selama lebih dari 50 tahun, dengan kedalaman lebih dari 20 meter. Sumur ini masih difungsikan hingga kini untuk memenuhi berbagai keperluan sekolah, mulai dari sanitasi, kebersihan, hingga konsumsi terbatas. Sistem sanitasi sekolah terdiri atas septic tank dan saluran air limbah (grey water) yang masing-masing berjarak sekitar 10 meter dari lokasi sumur. Air buangan dialirkan ke jaringan sewerage, mengikuti sistem perpipaan limbah kota. Meskipun memiliki sistem pembuangan yang cukup baik, lokasi ini tetap menyimpan potensi kerentanan pencemaran akibat usia sumur yang sangat tua dan intensitas penggunaan air yang tinggi. Permasalahan yang pernah dilaporkan meliputi kekeringan saat musim kemarau dan kejadian kekeruhan air, yang menunjukkan kemungkinan penurunan kualitas air tanah secara periodik dan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap karakteristik kimia dan fisiknya. Area pengambilan sampel ini relatif terbuka dan bersih, tanpa indikasi pencemaran visual.

- Titik 4 (SDN Panembahan)

Titik keempat berlokasi di lingkungan Sekolah Dasar Negeri (SDN) Panembahan, yang memiliki luas bangunan sekitar 1.000 m<sup>2</sup> dan memanfaatkan sumur gali sebagai salah satu sumber air tanah. Umur sumur diperkirakan sudah mencapai 20 tahun, dengan kedalaman kurang dari 10 meter, yang tergolong dangkal dan berisiko lebih tinggi terhadap pencemaran dari permukaan. Air dari sumur digunakan untuk berbagai keperluan domestik sekolah seperti kamar mandi, keperluan ibadah (wudhu), mencuci, dan kebersihan umum. Kebutuhan air di sekolah ini cukup tinggi karena digunakan oleh sekitar 251 orang yang terdiri dari siswa, guru, dan staf. Untuk menjamin ketersediaan air bersih, sekolah juga menggunakan

sambungan PDAM sebagai sumber utama air bersih. Sistem sanitasi di sekolah terdiri atas septic tank dan saluran air limbah, masing-masing berada kurang dari 10 meter dari lokasi sumur. Air limbah dialirkan ke jaringan pipa sewerage yang terhubung dengan sistem pembuangan kota. Dengan kedalaman sumur yang rendah, intensitas penggunaan yang tinggi, serta kedekatannya dengan sistem sanitasi, titik ini memiliki tingkat kerentanan yang cukup signifikan terhadap potensi pencemaran air tanah, terutama jika terjadi infiltrasi limbah ke dalam lapisan akuifer yang dangkal. Sumur ini berada di lingkungan lembab dan tertutup, sehingga cukup rentan terhadap potensi pencemaran.

- Titik 5 (SDN Keputran 1)

Titik kelima berada di Sekolah Dasar Negeri (SDN) Keputran 1, yang memiliki luas bangunan sekitar 1.000 m<sup>2</sup>. Sumber air tanah berasal dari sumur bor dengan kedalaman sekitar 10 meter, dan telah digunakan selama lebih dari 20 tahun. Air dari sumur digunakan untuk keperluan sanitasi (MCK), cuci tangan, serta konsumsi minum, melayani total kebutuhan sekitar 348 orang, termasuk siswa, guru, dan staf sekolah. Selain itu, sekolah juga menggunakan sambungan PDAM sebagai sumber air bersih tambahan, terutama saat kebutuhan meningkat. Fasilitas sanitasi sekolah dilengkapi dengan septic tank yang berjarak sekitar 10 meter dari sumur, dan saluran air limbah (grey water) yang juga berada dalam jarak serupa. Semua limbah cair dialirkan menuju sistem pipa sewerage kota. Meskipun sistem perpipaan limbah sudah cukup tertata, kedekatan infrastruktur sanitasi dengan sumur serta tingginya intensitas penggunaan air membuat lokasi ini perlu diperhatikan dalam konteks kualitas air tanah. Selain itu, sekolah ini juga pernah mengalami permasalahan ketersediaan air saat musim kemarau, serta perubahan warna air PDAM menjadi cokelat, yang menunjukkan potensi gangguan kualitas air baik dari sumber tanah maupun jaringan distribusi.

- Titik 6 (SDN Keputran 2)

Titik keenam terletak di lingkungan Sekolah Dasar Negeri (SDN) Keputran 2, dengan luas bangunan mencapai kurang lebih 1,5 hektare. Sekolah ini mengandalkan sumur bor sebagai sumber utama air tanah, yang telah

digunakan selama lebih dari 50 tahun dan memiliki kedalaman sekitar 15 meter. Untuk mengalirkan air dari sumur tersebut, digunakan bantuan pompa air. Sumber air alternatif berupa PDAM juga tersedia dan dimanfaatkan sebagai cadangan, terutama pada saat sumur tidak mencukupi kebutuhan harian. Air digunakan untuk berbagai keperluan, seperti mencuci, memasak, MCK, berwudhu, dan aktivitas kebersihan lainnya, melayani kebutuhan air dari sekitar 370 orang yang terdiri atas siswa, guru, dan tenaga kependidikan. Sistem sanitasi sekolah mencakup lebih dari lima unit septic tank, dengan jarak rata-rata sekitar 10 meter dari sumur bor. Saluran air limbah (grey water) juga berjarak kurang lebih 10 meter dari sumur, dan sistem pembuangannya diarahkan ke sungai terdekat serta sebagian lainnya dialirkan melalui pipa sewerage. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun sumber air utama berada pada kedalaman yang relatif aman dari permukaan, keberadaan banyak septic tank dan kombinasi sistem pembuangan terbuka dan tertutup meningkatkan potensi risiko pencemaran, terutama jika terdapat infiltrasi melalui lapisan tanah atau saluran yang bocor. Usia sumur yang sangat tua juga menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan dalam evaluasi kualitas air tanah di lokasi ini.

- Titik 7 (SDN Keputran A)

Titik ketujuh berada di lingkungan Sekolah Dasar Negeri (SDN) Keputran A, dengan luas bangunan sekitar 700 m<sup>2</sup>. Sekolah ini menggunakan sumur bor sebagai sumber utama air tanah, dengan kedalaman sekitar 15 meter dan umur penggunaan sumur lebih dari 20 tahun. Air tanah dimanfaatkan untuk berbagai keperluan utama sekolah, terutama untuk MCK, mencuci, serta kebutuhan kebersihan harian lainnya, guna melayani kebutuhan air bagi sekitar 534 orang, yang terdiri dari siswa, guru, dan staf sekolah. Fasilitas sanitasi di sekolah mencakup septic tank yang berjarak sekitar 10 meter dari sumur, serta saluran air limbah yang memiliki jarak relatif lebih jauh, yaitu sekitar 100 meter dari titik pengambilan air. Sistem pembuangan limbah di sekolah ini bervariasi: sebagian dialirkan ke jaringan pipa sewerage, sementara sisanya disalurkan ke selokan tanah atau bahkan sumur resapan, tergantung pada kondisi saluran dan infrastruktur di masing-masing blok

bangunan sekolah. Permasalahan air yang pernah terjadi di lokasi ini antara lain adalah kekeringan pada musim kemarau serta kekeruhan air yang muncul secara periodik. Kedua kondisi tersebut menunjukkan adanya fluktuasi kualitas dan ketersediaan air tanah yang berpotensi memengaruhi keamanan penggunaannya, terutama jika dikaitkan dengan kedalaman sumur, usia infrastruktur, serta pola pembuangan limbah di sekitarnya.

- Titik 8 (Pasar Ngasem)

Titik kedelapan berlokasi di Pasar Ngasem, salah satu pasar tradisional yang cukup dikenal di wilayah Kraton, Yogyakarta. Sumber air tanah di pasar ini berasal dari sumur bor dengan kedalaman sekitar 10 meter dan umur penggunaan lebih dari 20 tahun. Air tanah digunakan secara intensif untuk hampir seluruh kegiatan operasional pasar, termasuk untuk kebutuhan sanitasi, cuci tangan, kebersihan lantai, dan aktivitas pendukung lainnya. Selain itu, pasar ini juga telah terhubung dengan sambungan PDAM sebagai alternatif sumber air bersih. Pasar Ngasem masih menggunakan sistem septic tank, dengan jarak sekitar 10 meter dari titik sumur. Demikian pula, saluran air limbah berjarak kurang lebih sama, yaitu sekitar 10 meter dari sumur. Air buangan dari pasar dialirkan melalui selokan tanah terbuka, dan sebagian dialirkan ke dalam sistem sumur resapan, yang keduanya memiliki risiko tinggi terhadap pencemaran air tanah apabila tidak dikelola dengan baik. Sebelumnya, kawasan Pasar Ngasem berada berdekatan dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal yang dibangun untuk mengolah limbah cair dari aktivitas pasar dan lingkungan sekitar. Namun, saat ini IPAL tersebut sudah tidak berfungsi dan telah lama tidak dioperasikan. Yang tersisa hanyalah unit-unit peralatan pengolahan tanpa aktivitas pengolahan limbah yang berlangsung. Ketidakberfungsian fasilitas ini berpotensi meningkatkan risiko pencemaran lingkungan, khususnya terhadap kualitas air tanah, mengingat tingginya intensitas aktivitas dan volume penggunaan air di kawasan pasar.

- Titik 9 (RTHP)

Titik kesembilan terletak di area Ruang Terbuka Hijau Publik (RTHP) Rotowijayan, yang memiliki luas sekitar  $8 \times 10$  meter. RTHP ini dilengkapi

dengan sumur bor yang memiliki usia lebih dari 100 tahun, menjadikannya salah satu sumur tertua yang digunakan dalam studi ini. Kedalaman sumur diperkirakan sekitar 12 meter, dan airnya diakses menggunakan kombinasi metode, yakni dengan mesin pompa dan juga ditimba secara manual. Air dari sumur ini digunakan secara aktif untuk berbagai keperluan, termasuk mandi, cuci kakus (MCK), minum, mencuci kendaraan, dan mencuci pakaian. Fasilitas ini digunakan secara terbuka oleh masyarakat sekitar, termasuk warga dan pengunjung yang memanfaatkan area hijau tersebut untuk berbagai aktivitas. Meskipun intensitas penggunaannya tinggi, lokasi ini tidak dilengkapi dengan sistem septic tank. Namun demikian, terdapat saluran air limbah yang berjarak kurang lebih 5 meter dari lokasi sumur, dan digunakan untuk membuang limbah cair domestik dari kegiatan di sekitar RTHP. Ketiadaan septic tank, ditambah dengan kedekatan saluran air limbah terhadap sumur, menjadikan titik ini cukup rentan terhadap potensi pencemaran air tanah, terutama apabila terjadi infiltrasi limbah yang tidak melalui sistem pengolahan terlebih dahulu. Usia sumur yang sangat tua juga dapat menimbulkan kekhawatiran terhadap integritas struktur sumur dan kualitas air yang dihasilkan, meskipun penggunaan kombinasi pompa dan penimba manual menunjukkan bahwa air tanah masih dimanfaatkan secara aktif oleh masyarakat.

- Titik 10 (Sumur Warga 1)

Titik kesepuluh merupakan sumur milik warga yang terletak sekitar 50 meter dari RTHP Rotowijayan. Sumur ini memiliki karakteristik teknis yang serupa dengan titik sebelumnya, yaitu berupa sumur bor dengan kedalaman sekitar 12 meter dan telah digunakan selama lebih dari 100 tahun. Sama seperti di RTHP, air dari sumur ini diambil menggunakan mesin pompa dan juga dengan cara ditimba manual. Air dari sumur ini dimanfaatkan oleh penghuni rumah dan masyarakat sekitar untuk berbagai keperluan domestik, antara lain mandi, mencuci pakaian, MCK, mencuci kendaraan, hingga untuk minum. Namun berbeda dengan titik sebelumnya yang menggunakan kran sebagai titik akses, pengambilan air di lokasi ini dilakukan langsung dari pelataran rumah warga, di mana sumur tersebut terletak. Tidak terdapat septic tank di

sekitar sumur, dan saluran pembuangan air limbah berada pada jarak sekitar 5 meter. Sistem pembuangan limbah mengalir langsung ke saluran terbuka, tanpa melalui sistem pengolahan khusus. Meskipun demikian, berdasarkan pengamatan visual dan pengalaman warga, warna air dari sumur ini sangat jernih dan tidak berbau, yang menunjukkan bahwa secara fisik kualitas air masih berada dalam kondisi baik. Namun, mengingat usia sumur yang sangat tua dan kondisi sanitasi sekitar, evaluasi kualitas air secara kimia dan mikrobiologis tetap diperlukan untuk memastikan kelayakan penggunaannya.

- Titik 11 (Sumur Warga 2)

Titik kesebelas merupakan sumur warga yang berlokasi sekitar 100 meter dari Titik 10 (Sumur Warga 1), terletak di kawasan permukiman padat penduduk yang terdiri atas rumah-rumah berderet dalam gang sempit. Ketika memasuki gang tersebut, pengunjung langsung disambut oleh sebuah ruang atau fasilitas MCK bersama, yang digunakan secara kolektif oleh masyarakat di sekitar lingkungan tersebut. Sumur berada tepat di depan fasilitas MCK dan menjadi sumber utama. Karakteristik teknis sumur ini sama dengan titik sebelumnya, yaitu berupa sumur bor dengan kedalaman sekitar 12 meter, berusia lebih dari 100 tahun, dan digunakan dengan bantuan mesin pompa serta pengambilan air secara manual menggunakan timba. Penggunaan air mencakup berbagai kebutuhan dasar seperti mandi, mencuci pakaian, buang air (MCK), mencuci kendaraan, hingga konsumsi air minum. Untuk mendukung kebutuhan air bersih bagi aktivitas harian masyarakat. Seperti halnya titik sebelumnya, tidak terdapat septic tank dalam radius dekat sumur ini. Namun, saluran air limbah berada dalam jarak sekitar 5 meter dari sumur, dan limbah dibuang melalui saluran terbuka atau selokan, tanpa melalui proses pengolahan khusus. Lokasi sumur yang berada tepat di depan fasilitas MCK umum menunjukkan adanya potensi risiko pencemaran yang lebih tinggi, terutama mengingat intensitas penggunaan dan kepadatan hunian di sekitarnya. Oleh karena itu, sumur ini menjadi salah satu titik penting untuk dianalisis dalam konteks kerentanan kualitas air tanah di wilayah penelitian.

Berikut ini merupakan identitas dan teknis sumur di titik pengambilan sampel.

Tabel 4. 2 Penggunaan dan Sanitasi Lingkungan Titik Pengambilan Sampel

No	Titik Lokasi	Penggunaan Air	Septic Tank	Jarak Septic Tank	Jarak Saluran Limbah (m)	Sistem Pembuangan
1	Kantor Kemantren Kraton	Penyiraman tanaman	Ya	10	10	Sewarage
2	SDN Kraton	MCK,minum,masak, dan cuci	Ya	10	10	Sewarage
3	SMPN 16 Yogyakarta	MCK dan kebersihan	Ya	10	10	Sewarage
4	SDN Panembahan	MCK, wudhu, dan cuci	Ya	<10	10	Sewarage
5	SDN Keputran 1	MCK,cuci tangan, dan minum	Ya	10	10	Sewarage
6	SDN Keputran 2	MCK, wudhu, dan masak	Ya	10	10	Sewarage
7	SDN Keputran A	MCK dan cuci	Ya	10	100	Sewarage&Resapan
8	Pasar Ngasem	Operasional pasar	Ya	10	10	Resapan&Selokan tanah
9	RTHP Rotowijayan	MCK,minum, dan cuci	Tidak	-	5	Selokan tanah
10	Sumur Warga 1	MCK, minum, dan cuci	Tidak	-	5	Selokan tanah
11	Sumur Warga 2	MCK, minum, dan cuci	Tidak	-	5	Selokan tanah

*Sumber: Data primer, 2025*

#### 4.1.2 Hasil Pengujian Laboratorium

Pengujian kualitas air tanah dilakukan terhadap sampel yang diambil dari sebelas titik lokasi pengamatan di wilayah Kemantren Kraton, Kota Yogyakarta. Sampel air dikumpulkan menggunakan botol steril dan dianalisis di laboratorium terakreditasi untuk mengetahui karakteristik fisik dan kimia air tanah yang berhubungan dengan potensi pencemaran lingkungan. Parameter yang dianalisis meliputi Besi (Fe), Mangan (Mn), pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan Daya Hantar Listrik (DHL). Hasil uji laboratorium dari seluruh titik lokasi ditampilkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4. 3 Hasil Uji laboratorium

No	Titik Lokasi	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	pH	TDS(mg/L)	DHL( $\mu$ S/cm)
1	T1-Kantor Kecamatan Kraton	0,1108	<0,0158	7	212	0,363
2	T2-SDN Kraton	0,1076	<0,0158	6	168	0,250
3	T3-SMPN 16 Yogyakarta	0,1233	<0,0158	6	244	0,525
4	T4-SDN Panembahan	<0,0809	<0,0158	6	292	0,433
5	T5-SDN Keputran 1	0,1202	<0,0158	6	224	0,328
6	T6-SDN Keputran 2	<0,0809	<0,0158	6	297	0,405
7	T7-SDN Keputran A	<0,0809	<0,0158	6	156	0,471
8	T8-Pasar Ngasem	<0,0809	<0,0158	6	256	0,503
9	T9-RTHP Rotowijayan	<0,0809	<0,0158	7	209	0,397
10	T10-Sumur Warga 1	<0,0809	<0,0158	6	267	0,424
11	T11-Sumur Warga 2	<0,0809	<0,0158	6	244	0,389

*Keterangan: Simbol "<" menunjukkan bahwa nilai konsentrasi berada di bawah batas deteksi (Limit of Detection/LOD) alat yang digunakan, yaitu 0,0809 mg/L untuk Fe dan 0,0158 mg/L untuk Mn.*

*Sumber: Hasil Uji Laboratorium, 2025*

Sebelum menjelaskan hasil dari uji laboratorium, ada kondisi di lapangan yang memiliki probabilitas untuk mempengaruhi nilai atau konsentrasi masing-

masing parameter. Pada saat pengambilan sampel air tanah di Titik 1 (T1), yang berlokasi di Kantor Kecamatan Kraton, terdapat aktivitas pabatasan yang berlangsung tidak jauh dari lokasi pengambilan. Air yang diambil berasal dari kran, yang diduga sebelumnya digunakan dalam proses pembuatan batik tersebut. Aktivitas pabatasan diketahui memerlukan penggunaan air dalam jumlah cukup besar dan dapat melibatkan bahan-bahan kimia tertentu seperti pewarna, fiksatif, atau detergen khusus. Meskipun tidak ada pencampuran langsung antara air limbah pabatasan dengan sumber air yang diambil, keberadaan aktivitas tersebut secara spasial dan temporal sangat dekat dengan waktu dan lokasi pengambilan sampel. Oleh karena itu, tidak menutup kemungkinan bahwa sisa penggunaan atau aliran balik (*backflow*) dari kegiatan tersebut dapat memengaruhi karakteristik kimia air, yang tercermin dalam hasil pengujian beberapa parameter kualitas air di titik tersebut. Faktor ini perlu dicatat sebagai potensi sumber kontaminan.

Berdasarkan Tabel 4.3, kadar Besi (Fe) di seluruh titik pengamatan berkisar antara <0,0809 hingga 0,1233 mg/L, sedangkan kadar Mangan (Mn) berkisar antara <0,0158 hingga <0,0158 mg/L. Beberapa titik menunjukkan nilai konsentrasi Fe dan Mn yang sangat rendah, bahkan tidak terdeteksi oleh alat, sehingga dinyatakan dengan simbol "<". Simbol ini menandakan bahwa nilai konsentrasi tersebut berada di bawah batas deteksi (Limit of Detection/LOD) dari alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yang digunakan. Adapun LOD untuk parameter Fe adalah 0,0809 mg/L dan untuk Mn sebesar 0,0158 mg/L. Dengan demikian, nilai-nilai seperti <0,0809 untuk Fe dan <0,0158 untuk Mn tidak berarti nol, melainkan tidak terdeteksi secara kuantitatif oleh instrumen dalam batas akurasi yang dapat diterima. Penulisan nilai di bawah LOD dengan simbol "<" ini sesuai dengan praktik pelaporan yang digunakan oleh instansi resmi, seperti yang terlihat dalam dokumen Data Kualitas Air Tanah (Air Sumur) Tahun 2023 dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta, yang juga mencantumkan konsentrasi logam berat seperti Fe dalam format <0,009 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan simbol "<" adalah standar dalam pelaporan hasil uji laboratorium untuk menunjukkan hasil di bawah batas deteksi alat, bukan berarti nilai tersebut benar-benar nol.

Hasil uji juga menunjukkan bahwa kadar Fe dan Mn relatif kecil hampir di seluruh titik pengambilan sampel. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, kondisi geologi di wilayah Kemantren Kraton yang didominasi oleh material vulkanik tua dari aktivitas Gunung Merapi. Jenis batuan vulkanik, seperti tuf atau batuan beku yang mengalami pelapukan, umumnya tidak melepaskan unsur Fe dan Mn dalam jumlah besar ke dalam air tanah, sehingga konsentrasinya cenderung rendah. Kedua, pH air tanah yang berada pada rentang netral hingga agak asam dapat memengaruhi kelarutan logam. Pada kondisi ini, Fe dan Mn berpotensi mengendap sebagai oksida atau hidroksida, sehingga tidak terukur dalam bentuk terlarut. Ketiga, hasil konsentrasi yang kecil juga dapat dipengaruhi oleh adanya proses alami penyaringan di lapisan akuifer, di mana partikel logam dapat tertahan oleh material tanah atau mineral sebelum mencapai titik pengambilan sampel. Oleh karena itu, rendahnya kadar Fe dan Mn di hampir semua titik bukan berarti unsur tersebut tidak ada sama sekali, melainkan lebih mencerminkan kondisi geologi lokal dan sifat hidrogeokimia air tanah di wilayah penelitian. Merujuk pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, ambang batas maksimum yang diperbolehkan untuk parameter Fe dalam air tanah adalah 0,2 mg/L dan untuk Mn sebesar 0,1 mg/L. Dengan demikian, seluruh hasil pengujian Fe dan Mn pada titik pengamatan di wilayah penelitian masih berada dalam ambang batas yang diperbolehkan menurut baku mutu tersebut.

Nilai pH pada sampel air tanah berkisar antara 6 hingga 7, yang menunjukkan kondisi yang agak asam hingga netral. Rentang pH yang diperbolehkan menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023 adalah 6,5 hingga 8,5. Artinya, sebagian besar sampel yang tercatat memiliki pH 6 secara teknis berada di bawah baku mutu. Namun demikian, perlu dicatat bahwa pengukuran pH di lapangan dilakukan menggunakan kertas lakmus, yang hanya dapat menunjukkan nilai pH dalam bentuk bilangan bulat. Hal ini berpotensi menghasilkan nilai yang kurang akurat, terutama pada rentang kritis di sekitar batas bawah baku mutu (misalnya pH 6,5–6,9). Dengan demikian, sampel yang sebenarnya memiliki pH 6,6 atau 6,7 tetap akan terbaca sebagai pH 6, sehingga interpretasi bahwa air tidak memenuhi baku mutu perlu ditinjau kembali secara hati-hati. Untuk hasil yang lebih

presisi atau lebih valid, seharusnya digunakan pH meter digital dengan resolusi minimal 0,1.

Parameter TDS pada semua titik berkisar antara 156 hingga 297 mg/L, masih jauh di bawah ambang batas 300 mg/L menurut Kementerian Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 (Permenkes, 2023). Nilai Daya Hantar Listrik (DHL) berada pada rentang 0,250 hingga 0,525  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , yang juga masih jauh di bawah ambang batas 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  menurut literatur penelitian lain (Ruseffandi & Gusman, 2020). Untuk memperjelas kesesuaian antara hasil uji laboratorium dan baku mutu yang berlaku, **Tabel 4.4** berikut menyajikan ringkasan perbandingan seluruh parameter yang diuji.

Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Uji Laboratorium Dengan Baku Mutu

Parameter	Satuan	Rentang Hasil Uji	Baku Mutu	Status
Fe	mg/L	<0,0809 – 0,1233	$\leq 0.2$ (Permenkes, 2023)	Memenuhi
Mn	mg/L	<0,0158 – <0,0158	$\leq 0.1$ (Permenkes, 2023)	Memenuhi
pH	-	6 – 7	6.5–8.5 (Permenkes, 2023)	Sebagian tidak memenuhi
TDS	mg/L	156–297	$\leq 300$ (Permenkes,2023)	Memenuhi
DHL	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0.250–0.525	$\leq 1500$ (Ruseffandi & Gusman, 2020)	Memenuhi

***Catatan:** Nilai hasil pengujian laboratorium yang ditandai dengan simbol "<" menunjukkan bahwa kandungan parameter tersebut berada **di bawah batas deteksi minimum alat ukur**, dan untuk keperluan deskriptif dinyatakan sesuai dengan batas deteksi yang tersedia.*

*Sumber: Hasil Uji Laboratorium dan Literatur Penelitian*

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa air tanah dari seluruh titik pengambilan sampel di wilayah penelitian masih memenuhi baku mutu kualitas air minum untuk seluruh parameter yang dianalisis, kecuali pada parameter pH, yang secara visual tampak tidak memenuhi, tetapi secara teknis masih berpotensi memenuhi apabila diukur menggunakan alat yang lebih presisi. Temuan ini akan dianalisis lebih lanjut melalui pendekatan statistik dan spasial dalam

subbab berikutnya untuk menentukan kecenderungan kerentanan kualitas air tanah di wilayah Kemantren Kraton.

#### 4.1.3 Statistik Deskriptif Parameter Air Tanah

Statistik deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai sebaran nilai dari masing-masing parameter kualitas air tanah berdasarkan data primer yang diperoleh dari 11 titik pengambilan sampel. Parameter yang dianalisis meliputi Besi (Fe), Mangan (Mn), pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan Daya Hantar Listrik (DHL). Statistik yang digunakan meliputi nilai minimum, maksimum, rata-rata (mean), dan standar deviasi (SD). Hasil statistik deskriptif dari kelima parameter tersebut disajikan dalam **Tabel 4.5** berikut.

Tabel 4. 5 Hasil statistik deskriptif

Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
Fe	mg/L	0,0809	0,1233	0,0934	0,0171
Mn	mg/L	0,0158	0,0158	0,0158	0
pH	-	6	7	6,18	0,3856
TDS	Mg/L	156	297	233,54	43,4351
DHL	$\mu$ S/cm	0,250	0,525	0,408	0,0747

**Keterangan:** Nilai <LOD untuk parameter Fe dan Mn disubstitusikan dengan nilai LOD-nya masing-masing, yaitu 0,0809 mg/L untuk Fe dan 0,0158 mg/L untuk Mn. Hal ini dilakukan agar memungkinkan perhitungan statistik deskriptif seperti rata-rata dan standar deviasi, sesuai pendekatan statistik lingkungan (Helsel, 2012; USEPA, 2006).

*Sumber: Hasil Pengolahan Data Primer (Excel), 2025*

Berdasarkan Tabel 4.5, nilai Besi (Fe) menunjukkan kisaran antara 0,0809 hingga 0,1233 mg/L, dengan nilai rata-rata sebesar 0,0934 mg/L dan standar deviasi sebesar 0,0171 mg/L. Nilai minimum 0,0809 mg/L merupakan batas deteksi alat (Limit of Detection/LOD), yang digunakan sebagai substitusi untuk titik-titik yang memiliki hasil pengujian <LOD. Penyebaran nilai ini menunjukkan bahwa terdapat variasi kadar Fe antar titik lokasi, meskipun fluktuasinya relatif kecil dan masih berada dalam rentang yang terkendali. Artinya, nilai Fe antar titik tidak sepenuhnya

seragam, namun juga tidak menunjukkan perbedaan yang ekstrem. Titik dengan konsentrasi tertinggi tercatat pada lokasi SMPN 16 (0,1233 mg/L), sedangkan sebagian besar titik lainnya mendekati nilai LOD.

Untuk parameter Mangan (Mn), seluruh titik menunjukkan hasil pengujian di bawah batas deteksi alat. Oleh karena itu, nilai Mn pada seluruh titik disubstitusikan dengan nilai LOD sebesar 0,0158 mg/L. Hal ini menyebabkan nilai minimum, maksimum, dan rata-rata Mn menjadi sama, yaitu 0,0158 mg/L, serta menghasilkan nilai standar deviasi sebesar 0,0000 mg/L. Dengan demikian, kandungan Mn dalam air tanah di lokasi penelitian tergolong sangat rendah dan homogen tanpa adanya variasi antar titik.

Nilai pH berada pada rentang 6 hingga 7, dengan rata-rata sebesar 6,1818 dan standar deviasi sebesar 0,3856. Hasil ini menunjukkan adanya sedikit variasi antar titik, dengan sebagian besar titik menunjukkan nilai di bawah batas bawah baku mutu (6,5). Namun demikian, perlu diperhatikan bahwa pengukuran pH di lapangan dilakukan menggunakan kertas lakmus, yang hanya menghasilkan pembacaan bilangan bulat. Dengan metode ini, nilai aktual seperti 6,5 atau 6,7 akan tetap tercatat sebagai pH 6. Oleh karena itu, interpretasi bahwa nilai pH tidak memenuhi baku mutu perlu ditinjau dengan hati-hati. Penggunaan alat pH meter digital direkomendasikan untuk pengukuran lanjutan yang lebih presisi.

Parameter TDS memiliki kisaran nilai antara 156 hingga 297 mg/L, dengan rata-rata sebesar 233,54 mg/L dan standar deviasi sebesar 43,44. Nilai ini menunjukkan adanya perbedaan kandungan zat terlarut antar titik, meskipun masih dalam rentang yang tergolong rendah menurut standar WHO. Variasi ini kemungkinan dipengaruhi oleh aktivitas permukiman, kedalaman sumur, atau karakteristik geologis lokal yang berbeda di masing-masing titik.

Sedangkan untuk Daya Hantar Listrik (DHL), nilai yang terukur berkisar antara 0,250 hingga 0,525  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dengan rata-rata 0,4080  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan standar deviasi sebesar 0,0747. Nilai ini menunjukkan bahwa kemampuan air tanah dalam menghantarkan listrik berbeda antar lokasi, tetapi tetap dalam kategori rendah secara umum. Seluruh nilai DHL masih jauh di bawah ambang batas maksimum berdasarkan dari jurnal ilmiah atau literatur (Ruseffandi & Gusman, 2020), yaitu

1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , yang menandakan bahwa kandungan ion terlarut dalam air tanah di wilayah penelitian tidak berlebihan dan masih dalam kondisi layak.

Secara keseluruhan, hasil statistik deskriptif ini menunjukkan bahwa kualitas air tanah berdasarkan parameter kimia dan fisik masih berada dalam rentang yang relatif aman. Hasil ini akan menjadi dasar dalam analisis berikutnya, baik melalui pendekatan bivariate analysis ataupun spasial, untuk memahami pola hubungan dan persebaran kualitas air tanah di wilayah Kemantren Kraton.

#### **4.1.4 Perbandingan Data Primer dan Data Sekunder**

Perbandingan ini dilakukan antara data kualitas air tanah hasil pengambilan sampel primer tahun 2025 dengan data sekunder dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta tahun 2023. Total terdapat sembilan titik lokasi yang identik pada kedua tahun tersebut, yaitu dari T1 hingga T9. Sementara itu, dua titik tambahan pada tahun 2025 (T10 dan T11) merupakan titik baru yang berlokasi dekat dengan T9, sehingga tidak dimasukkan dalam tabel perbandingan ini. Data yang tersedia dari DLH mencakup empat parameter utama, yaitu Besi (Fe), Mangan (Mn), pH, dan Total Dissolved Solids (TDS). Perlu dicatat bahwa sebagian besar nilai Fe dan Mn pada tahun 2023 ditulis menggunakan simbol “<” (misalnya <0,009 atau <0,001). Simbol tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi parameter berada di bawah batas deteksi alat laboratorium. Dalam konteks ini, nilai-nilai tersebut tetap ditampilkan sesuai format aslinya, namun akan dijelaskan lebih lanjut pada narasi interpretasi hasil. Berikut ini merupakan tabel perbandingan data primer dan data sekunder dari masing-masing parameter.

Tabel 4. 6 Data primer dan sekunder parameter besi (Fe)

Titik	Fe 2023 (mg/L)	Fe 2025 (mg/L)
T1	<0,009	0,1108
T2	<0,009	0,1076
T3	<0,009	0,1233
T4	<0,009	<0,0809
T5	<0,009	0,1202
T6	<0,009	<0,0809
T7	0,137	<0,0809
T8	<0,009	<0,0809
T9	<0,009	<0,0809

*Keterangan: Simbol “<” menunjukkan nilai di bawah batas deteksi alat laboratorium (LOD) pada tahun 2023 dan 2025.*

Tabel 4. 7 Data primer dan sekunder parameter mangan (Mn)

Titik	Mn 2023 (mg/L)	Mn 2025 (mg/L)
T1	<0,001	<0,0158
T2	0,004	<0,0158
T3	0,018	<0,0158
T4	0,010	<0,0158
T5	0,029	<0,0158
T6	0,005	<0,0158
T7	0,006	<0,0158
T8	0,002	<0,0158
T9	<0,001	<0,0158

*Keterangan: Simbol “<” menunjukkan nilai di bawah batas deteksi alat (LOD) laboratorium pada tahun 2023 dan 2025.*

Tabel 4. 8 Data primer dan sekunder parameter pH

Titik	pH 2023	pH 2025
T1	6,9	7
T2	6,5	6
T3	6,8	6
T4	6,6	6
T5	6,6	6
T6	6,8	6
T7	6,6	6
T8	6,6	6
T9	7,7	7

*Keterangan: Nilai pH untuk titik 10 dan 11 pada tahun 2025 adalah 6.*

Tabel 4. 9 Data primer dan sekunder parameter TDS

Titik	TDS 2023	TDS 2025
T1	199	212
T2	93	168
T3	144	244
T4	108	292
T5	141	224
T6	116	297
T7	118	156
T8	247	256
T9	209	209

*Keterangan: Nilai TDS untuk titik 10 dan 11 pada tahun 2025 adalah 267 mg/L dan 244mg/L*

Secara umum, dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan konsentrasi Fe dari tahun 2023 ke 2025 pada sebagian besar titik, terutama pada T1, T2, dan T3. Hanya titik T7 yang menunjukkan penurunan konsentrasi Fe, dari 0,137 mg/L pada tahun 2023 menjadi 0,0638 mg/L di tahun 2025. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh

perbedaan kondisi musim, aktivitas manusia, atau umur dan konstruksi sumur yang berbeda.

Untuk parameter Mn, hampir seluruh titik di tahun 2025 menunjukkan nilai sangat rendah atau tidak terdeteksi, berbeda dengan tahun 2023 yang mencatatkan nilai Mn berkisar antara  $<0,001$  hingga  $0,029$  mg/L. Ini menunjukkan adanya penurunan kadar Mn, yang dapat terjadi karena proses filtrasi alami di tanah atau berkurangnya sumber pencemar.

Pada parameter pH, hampir semua titik mengalami penurunan dari nilai netral ke agak asam, seperti pada titik T2 dan T3 yang awalnya berada di  $6,5-6,8$  menjadi pH 6 di tahun 2025. Penurunan pH ini perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi kelarutan logam dalam air tanah dan berdampak pada kualitas air secara keseluruhan.

Sedangkan pada parameter TDS, mayoritas titik menunjukkan peningkatan signifikan, terutama pada titik T4 dan T6. Kenaikan ini dapat mencerminkan meningkatnya mineral terlarut di dalam air tanah akibat aktivitas domestik, infiltrasi limbah, atau karena pengaruh kedalaman sumur yang lebih besar.

Perubahan yang tercatat menunjukkan bahwa meskipun seluruh nilai masih berada di bawah ambang batas baku mutu menurut Permenkes No. 2 Tahun 2023, terdapat indikasi tren penurunan kualitas air tanah dalam dua tahun terakhir. Temuan ini akan didalami lebih lanjut melalui pendekatan analisis statistik bivariante dan pemetaan spasial, guna mengidentifikasi pola hubungan antarparameter serta wilayah dengan tingkat kerentanan tertinggi.

#### **4.1.5 Hasil Analisis Bivariate**

Pada bagian ini dilakukan analisis bivariante untuk mengetahui hubungan antarparameter kualitas air tanah pada 11 titik lokasi di Kecamatan Kraton. Analisis dilakukan secara pasangan dua parameter, untuk menilai arah dan kekuatan hubungan berdasarkan nilai koefisien korelasi Pearson ( $r$ ), serta memvisualisasikannya melalui diagram sebar (scatter plot). Koefisien Pearson ( $r$ ) bernilai antara  $-1$  hingga  $+1$ . Nilai mendekati  $+1$  menunjukkan hubungan positif kuat (kedua variabel naik bersama), mendekati  $-1$  menunjukkan hubungan negatif kuat (satu naik, satu turun), dan mendekati  $0$  menunjukkan tidak ada hubungan linear yang signifikan.

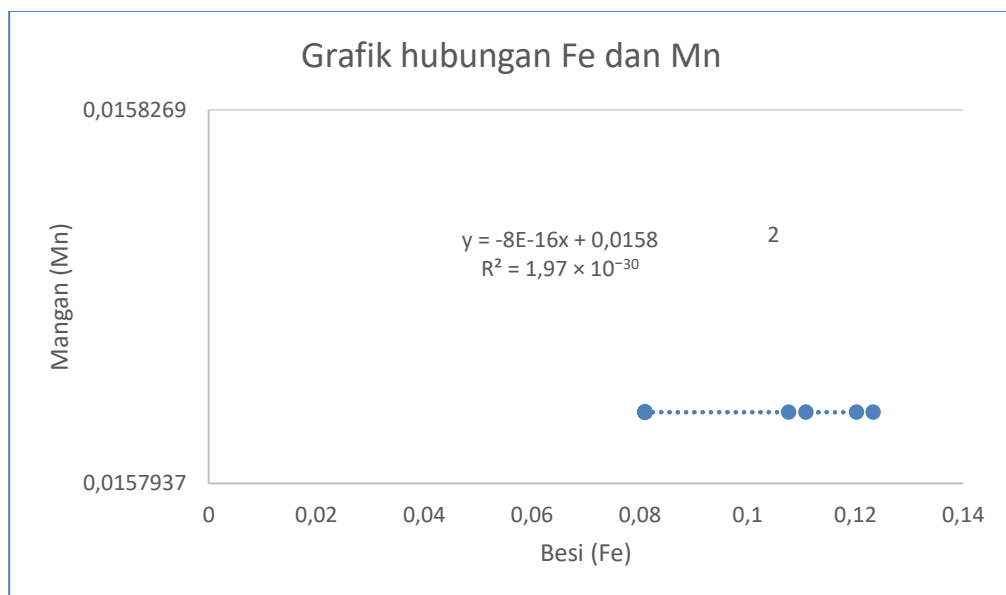
Berikut ini merupakan pedoman umum dalam menafsirkan kuat-lemahnya Korelasi Pearson (r).

Tabel 4. 10 Pedoman umum Korelasi Pearson (r)

Nilai r (Korelasi Pearson)	Interpretasi
0,00 – 0,19	Sangat lemah
0,20 – 0,39	Lemah
0,40 – 0,59	Sedang (moderat)
0,60 – 0,79	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

#### 4.1.5.1 Hubungan Fe dengan Mn

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter Besi (Fe) dan mangan (Mn), dilakukan analisis bivariante dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi Fe terhadap Mn di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 2 Scatter Plot Hubungan Antara Fe dan Mn

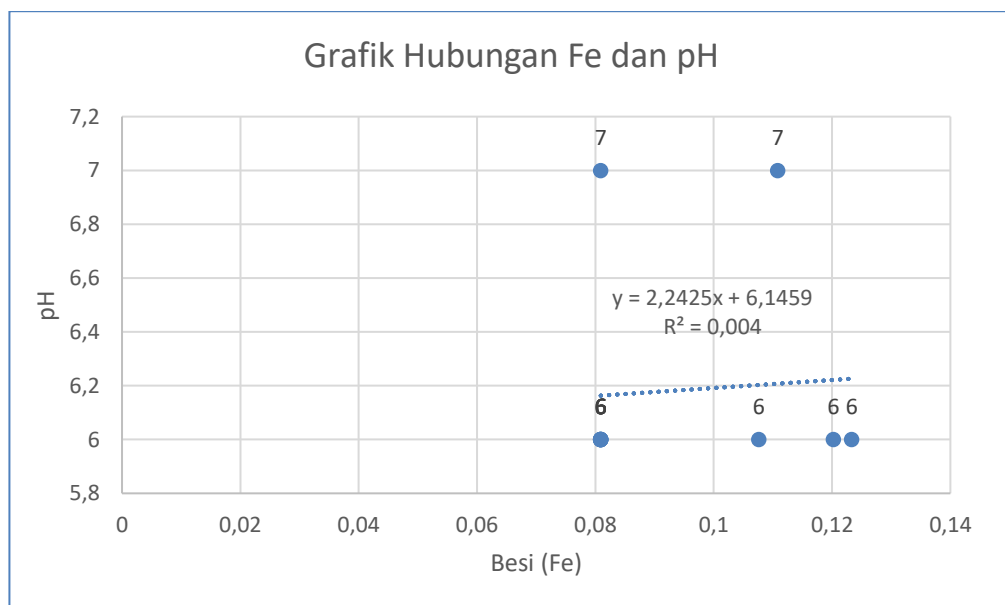
Berdasarkan hasil analisis bivariante antara parameter Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam air tanah, diperoleh nilai koefisien korelasi (r) sebesar  $-1,403 \times 10^{-15}$ , yang berada sangat dekat dengan nol. Nilai ini menunjukkan bahwa tidak terdapat

hubungan linear antara kedua parameter tersebut. Arah hubungan bersifat negatif, namun karena nilai  $r$  sangat kecil, hubungan tersebut dikategorikan sebagai tidak ada korelasi secara statistik. Sementara itu, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar  $1,97 \times 10^{-30}$  menunjukkan bahwa hampir tidak ada variasi kandungan Mn yang dapat dijelaskan oleh variasi Fe. Dengan kata lain, seluruh variasi nilai Mn tidak berkaitan dengan nilai Fe, dan dipengaruhi sepenuhnya oleh faktor lain. Grafik scatter plot mendukung kesimpulan ini, di mana seluruh titik Mn berada pada nilai tetap sebesar 0,0158 mg/L karena seluruh sampel memiliki konsentrasi Mn di bawah batas deteksi alat. Variasi hanya terjadi pada parameter Fe, sehingga tidak terbentuk pola linear antar keduanya. Garis regresi yang dihasilkan pun datar dan tidak mencerminkan tren yang berarti.

Dengan demikian, hubungan antara Fe dan Mn dapat disimpulkan sebagai tidak memiliki korelasi yang signifikan secara statistik maupun secara visual, disebabkan oleh tidak adanya variasi pada nilai Mn.

#### 4.1.5.2 Hubungan Fe dengan pH

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter Besi (Fe) dan pH, dilakukan analisis bivariate dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi Fe terhadap pH di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.3 berikut.

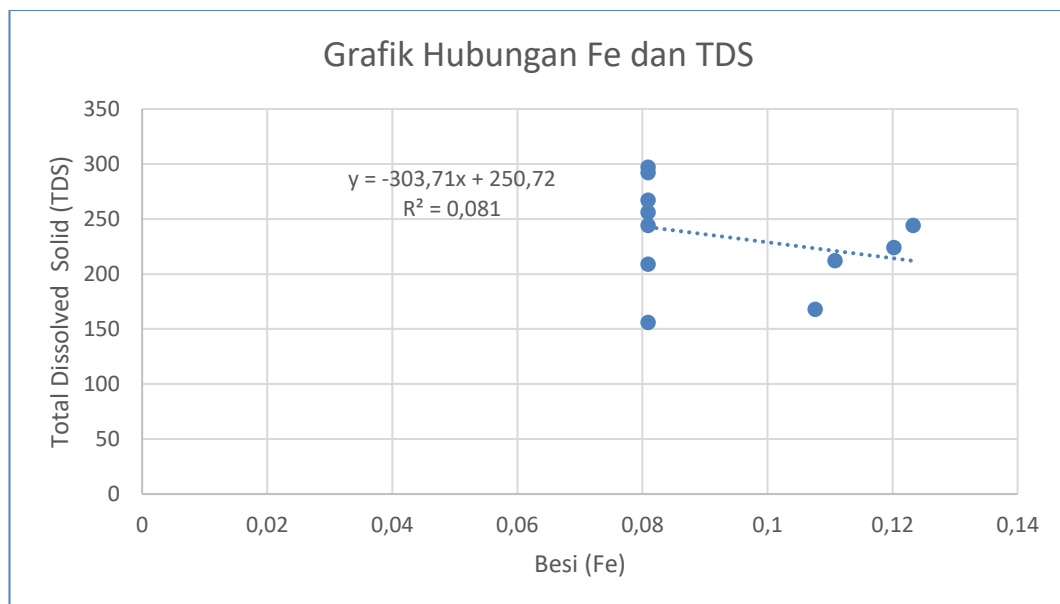


Gambar 4.3 Scatter Plot Hubungan Antara Fe dan pH

Hubungan antara Besi (Fe) dengan pH menunjukkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,065, yang tergolong dalam kategori positif sangat lemah. Artinya, meskipun arah hubungan antara kedua parameter cenderung searah (positif), tetapi kekuatannya sangat rendah dan hampir tidak memberikan pengaruh secara nyata. Hal ini juga ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang sangat kecil, yaitu 0,004, yang menunjukkan bahwa pH hanya mampu menjelaskan sekitar 0,4% variasi nilai Fe dalam sampel yang dianalisis. Hasil ini menunjukkan bahwa hubungan antara Fe dan pH memang ada, tetapi pH bukan satu-satunya faktor yang memengaruhi kandungan Fe di air tanah. Kondisi lingkungan seperti jenis tanah, sistem drainase, hingga aktivitas manusia bisa jadi lebih berperan besar. Selain itu, nilai pH di lokasi penelitian juga tidak terlalu bervariasi (hanya berkisar antara 6 dan 7), sehingga pengaruhnya terhadap perubahan kadar Fe tidak terlalu terlihat.

#### 4.1.5.3 Hubungan Fe dengan TDS

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter Besi (Fe) dan Total Dissolved Solid (TDS), dilakukan analisis bivariante dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi Fe terhadap TDS di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 4 Scatter Plot Hubungan Antara Fe dan TDS

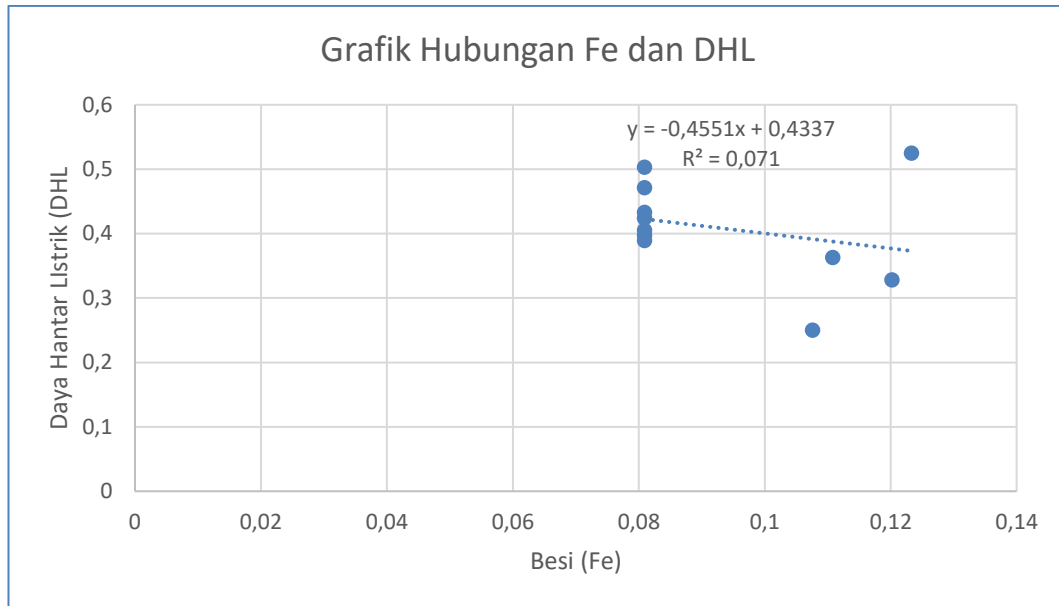
Berdasarkan hasil analisis bivariante antara parameter Besi (Fe) dan Total Dissolved Solids (TDS), diperoleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar -0,285 yang menunjukkan adanya hubungan negatif lemah antara kedua parameter tersebut. Artinya, peningkatan kadar Fe cenderung diikuti oleh penurunan nilai TDS, namun hubungan ini tidak cukup kuat untuk menunjukkan keterkaitan yang bermakna secara statistik.

Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,081 mengindikasikan bahwa hanya sekitar 8,1% variasi TDS dapat dijelaskan oleh variasi kandungan Fe dalam sampel. Sisanya sebesar 91,9% dipengaruhi oleh faktor lain di luar parameter Fe, seperti kandungan ion terlarut lain ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , dan lainnya). Secara visual, grafik scatter plot menunjukkan penyebaran titik data yang menyebar, dan garis regresi linear menurun, sesuai dengan arah korelasi negatif. Namun, tidak terdapat pola hubungan yang cukup kuat secara visual maupun statistik.

Dengan demikian, hubungan antara Fe dan TDS tergolong negatif lemah, dan tidak menunjukkan keterkaitan yang signifikan antarparameter dalam sampel air tanah di lokasi penelitian.

#### **4.1.5.4 Hubungan Fe dengan DHL**

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter Besi (Fe) dan Daya Hantar Listrik (DHL), dilakukan analisis bivariante dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi Fe terhadap DHL di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Scatter Plot Hubungan Antara Fe dan DHL

Berdasarkan hasil analisis bivariate antara parameter Besi (Fe) dan Daya Hantar Listrik (DHL) air tanah, diperoleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar  $-0,267$ , yang menunjukkan adanya hubungan negatif lemah antara kedua parameter tersebut. Artinya, peningkatan kadar Fe cenderung diikuti oleh penurunan nilai DHL, namun hubungan ini tidak cukup kuat untuk dianggap signifikan secara statistik.

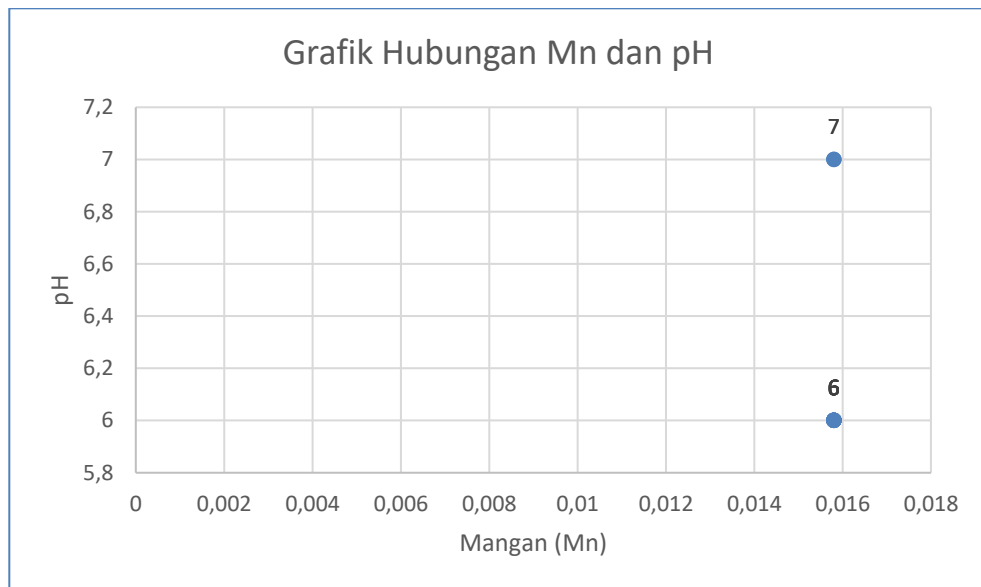
Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar  $0,071$  mengindikasikan bahwa sekitar  $7,1\%$  variasi DHL dapat dijelaskan oleh variasi kandungan Fe dalam sampel air tanah. Sementara  $92,9\%$  sisanya dipengaruhi oleh faktor lain, seperti kandungan ion-ion penghantar listrik lainnya (seperti  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , dan lainnya) yang lebih berkontribusi terhadap nilai DHL. Secara visual, grafik scatter plot menunjukkan penyebaran titik data yang cenderung menyebar acak, dan garis regresi linear yang menurun sesuai arah korelasi negatif, namun tidak menunjukkan pola keterkaitan yang kuat.

Dengan demikian, hubungan antara Fe dan DHL dapat disimpulkan sebagai negatif lemah, dan tidak memiliki keterkaitan yang signifikan baik secara statistik maupun visual.

#### 4.1.5.5 Hubungan Mn dengan pH

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter Mangan (Mn) dan pH, dilakukan analisis bivariate dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang

merepresentasikan nilai konsentrasi Mn terhadap pH di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4. 6 Scatter Plot Hubungan Antara Mn dan pH

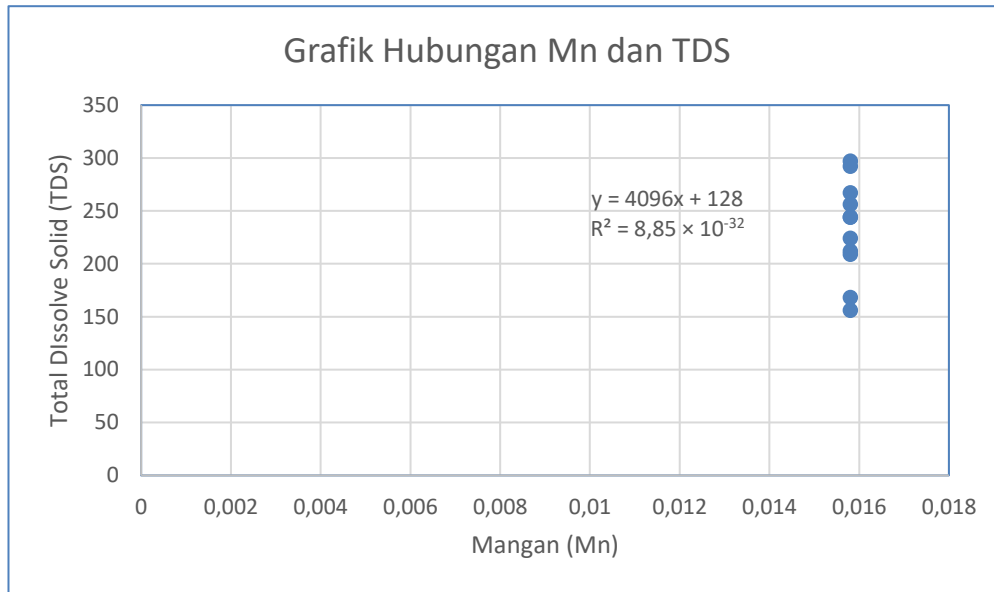
*Catatan: Grafik hubungan antara Mn dan pH tidak ditampilkan karena seluruh nilai Mn berada pada batas deteksi (LOD), sehingga tidak memungkinkan dibuatnya garis tren regresi secara statistik.*

Berdasarkan hasil analisis korelasi, hubungan antara parameter Mangan (Mn) dan pH menunjukkan nilai korelasi ( $r$ ) sebesar  $-4,19 \times 10^{-16}$ , yang berarti mendekati nol. Nilai ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat hubungan linier yang berarti antara kadar Mn dan nilai pH air tanah di lokasi penelitian. Selain itu, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar  $1,75 \times 10^{-31}$  juga sangat kecil, yang artinya variasi nilai pH hampir tidak mampu menjelaskan variasi konsentrasi Mn di wilayah tersebut.

Secara umum, pH memang dapat memengaruhi kelarutan logam seperti Mn, namun dalam konteks penelitian ini, kemungkinan besar variasi pH antar titik sampel terlalu sempit (dominan di angka 6–7), sehingga tidak cukup berpengaruh terhadap perbedaan kadar Mn. Dengan kata lain, nilai Mn yang hampir seragam di seluruh titik sampel dikarenakan semuanya berada pada batas deteksi alat (LOD) sehingga menyebabkan tidak munculnya pola hubungan yang dapat dijelaskan secara statistik.

#### 4.1.5.6 Hubungan Mn dengan TDS

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter Mangan (Mn) dan total dissolve solid (TDS), dilakukan analisis bivariante dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada setiap titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi Mn terhadap TDS di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7 Scatter Plot Hubungan Antara Mn dan TDS

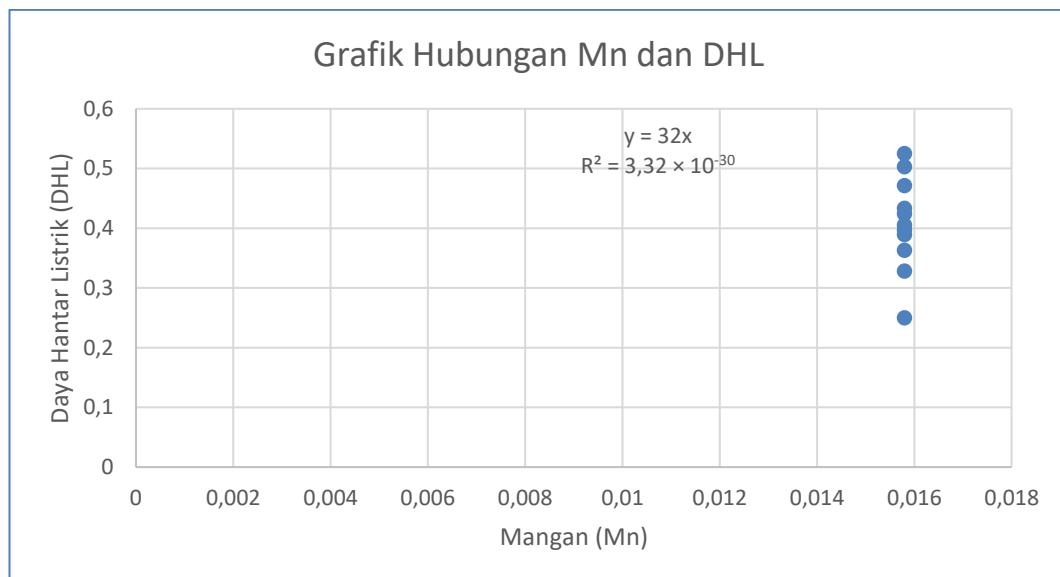
Berdasarkan hasil analisis bivariante antara parameter Mangan (Mn) dan Total Dissolved Solids (TDS), diperoleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar  $-2,97 \times 10^{-11}$ , yang secara statistik berada sangat dekat dengan nol. Nilai ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat hubungan linear antara kedua parameter tersebut. Arah korelasi memang negatif, namun kekuatannya nyaris tidak ada. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar  $8,85 \times 10^{-32}$  menunjukkan bahwa tidak ada variasi nilai TDS yang dapat dijelaskan oleh variasi kandungan Mn. Seluruh variasi nilai TDS dalam sampel air tanah dipengaruhi oleh parameter lain yang tidak berkaitan dengan Mn.

Secara visual, grafik scatter plot juga memperlihatkan bahwa nilai Mn di seluruh titik sampling adalah tetap, yaitu 0,0158 mg/L (menggunakan nilai LOD), sehingga tidak ada variasi data untuk dianalisis secara regresi. Hal ini menyebabkan hasil korelasi menjadi sangat rendah dan tidak membentuk pola hubungan antarparameter.

Dengan demikian, hubungan antara Mn dan TDS dapat disimpulkan sebagai tidak memiliki korelasi yang signifikan, baik secara statistik maupun visual, dalam kondisi air tanah di lokasi penelitian ini.

#### 4.1.5.7 Hubungan Mn dengan DHL

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter Mangan (Mn) dan Daya Hantar Listrik (DHL) , dilakukan analisis bivariate dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi Mn terhadap DHL di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 8 Scatter Plot Hubungan Antara Mn dan DHL

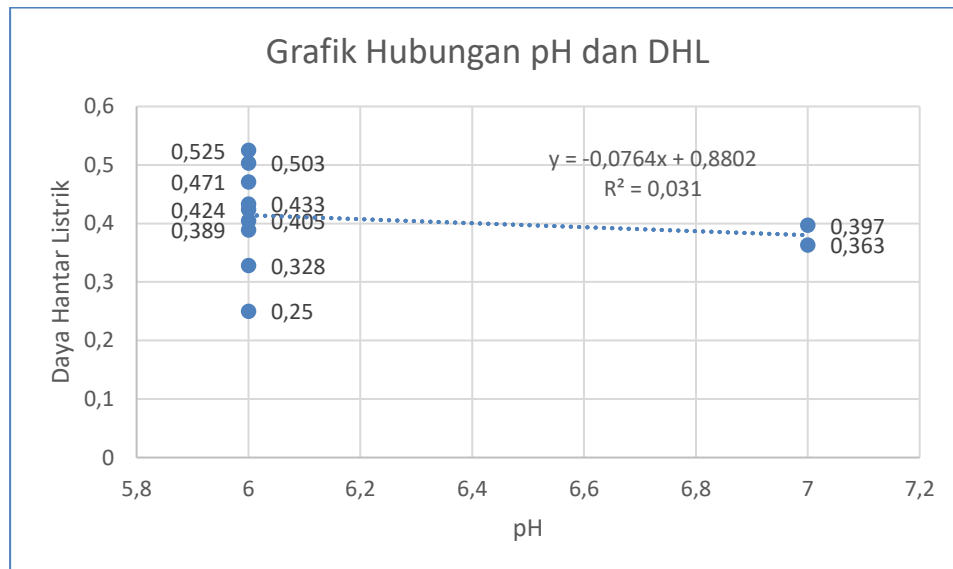
Berdasarkan hasil analisis bivariate antara parameter Mangan (Mn) dan Daya Hantar Listrik (DHL) air tanah, diperoleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar  $1,82 \times 10^{-15}$  yang sangat mendekati nol. Nilai ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat hubungan linear antara kedua parameter tersebut. Meskipun arah hubungan bersifat positif, namun kekuatannya sangat lemah dan secara statistik tidak bermakna. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar  $3,32 \times 10^{-30}$  menunjukkan bahwa hampir tidak ada variasi nilai DHL yang dapat dijelaskan oleh variasi kandungan Mn dalam sampel air tanah. Variasi nilai DHL kemungkinan besar dipengaruhi oleh parameter-parameter lain seperti kandungan ion-ion terlarut ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , dll).

Grafik scatter plot juga memperlihatkan bahwa nilai Mn di seluruh titik sampling adalah tetap, yaitu 0,0158 mg/L (menggunakan nilai LOD), sehingga tidak ada variasi aktual dalam data Mn. Hal ini menyebabkan garis regresi linear yang terbentuk menjadi datar dan hubungan antarparameter tidak terbaca secara visual maupun statistik.

Dengan demikian, hubungan antara Mn dan DHL dapat disimpulkan sebagai tidak memiliki korelasi yang signifikan, baik secara statistik maupun visual.

#### 4.1.5.8 Hubungan pH dengan DHL

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter pH dan daya hantar listrik (DHL), dilakukan analisis bivariate dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi pH terhadap DHL di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.9 berikut.



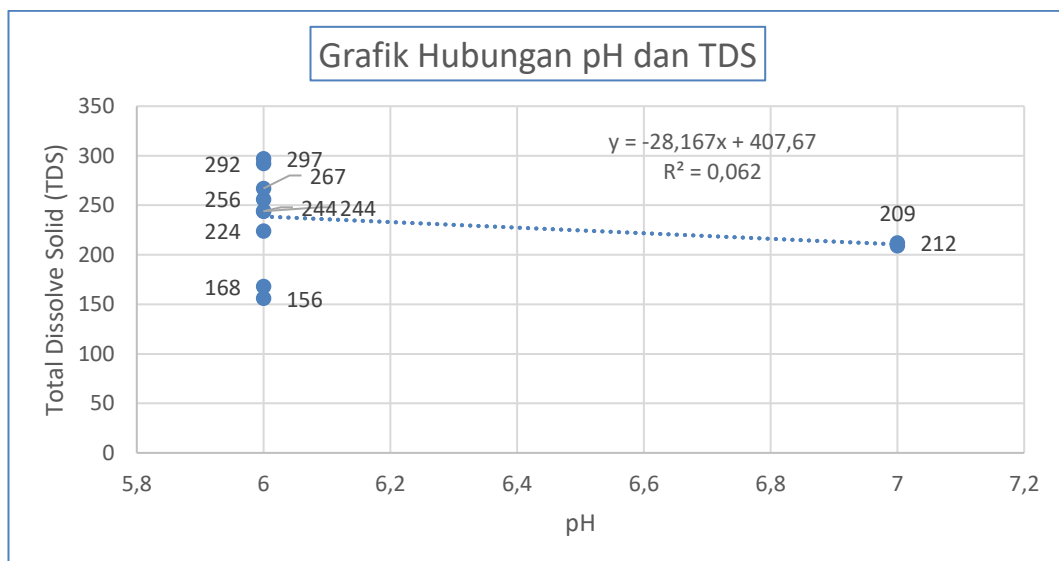
Gambar 4. 9 Scatter Plot Hubungan Antara pH dan DHL

Hubungan antara pH dan Daya Hantar Listrik (DHL) menunjukkan nilai korelasi ( $r$ ) sebesar -0,176, yang termasuk dalam kategori negatif sangat lemah. Arah hubungan yang negatif menunjukkan bahwa semakin rendah nilai pH, terdapat sedikit kecenderungan nilai DHL meningkat. Namun, karena kekuatannya sangat lemah dan nilai  $R^2$  juga hanya sebesar 0,031, maka hubungan ini secara statistik tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Hubungan ini juga memperlihatkan bahwa nilai pH yang cenderung berada pada angka 6 hingga 7 di

sebagian besar titik pengambilan sampel menyebabkan rendahnya variasi pH secara umum. Kondisi ini berkontribusi pada lemahnya hubungan linier antara pH dan DHL di wilayah penelitian.

#### 4.1.5.9 Hubungan pH dengan TDS

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter pH dan Total Dissolve Solid (TDS) , dilakukan analisis bivariate dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi pH terhadap TDS di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.10 berikut.



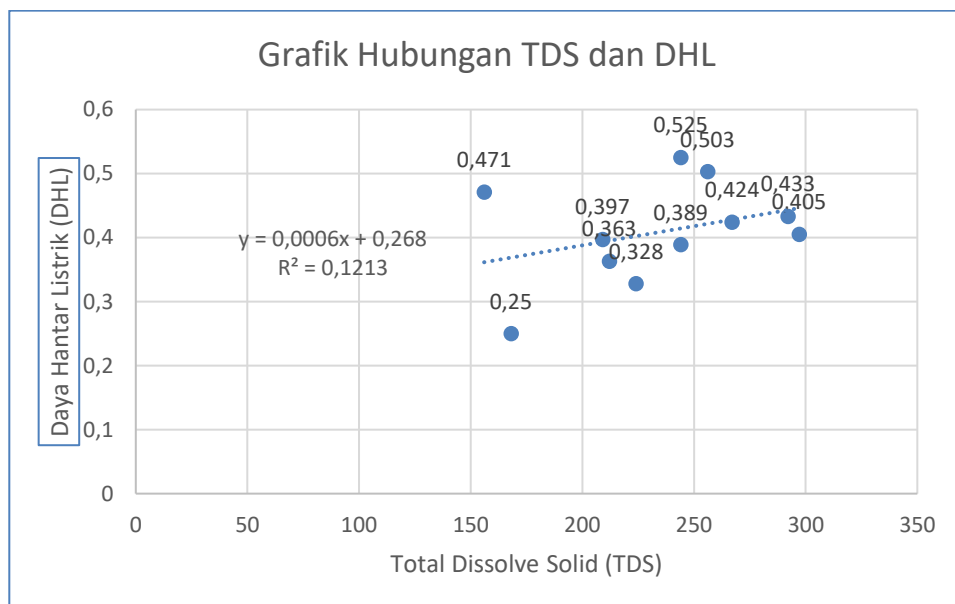
Gambar 4. 10 Scatter Plot Hubungan Antara pH dan TDS

Pasangan antara pH dan Total Dissolved Solids (TDS) memiliki nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar  $-0,250$ , yang menunjukkan adanya hubungan negatif lemah. Ini berarti bahwa ketika nilai pH menurun (lebih asam), terdapat kecenderungan nilai TDS meningkat, meskipun hubungan tersebut tidak kuat. Nilai determinasi ( $R^2$ ) sebesar  $0,062$  mengindikasikan bahwa hanya sekitar  $6,2\%$  variasi nilai TDS yang dapat dijelaskan oleh pH.. Korelasi yang sangat rendah ini mengindikasikan bahwa pH tidak memiliki pengaruh yang berarti terhadap nilai TDS di wilayah penelitian. Sebagian besar nilai pH yang terukur berada pada angka 6, dengan hanya dua titik yang mencapai pH 7, sehingga rentang variasi pH tergolong sempit. Kondisi ini kemungkinan menjadi penyebab utama lemahnya korelasi yang terbentuk, karena tidak cukup perbedaan nilai pH yang dapat digunakan untuk melihat pola keterkaitannya dengan TDS. Dengan kata lain,

ketidakberagaman nilai pH menyebabkan keterkaitan secara statistik menjadi lemah dan tidak signifikan.

#### 4.1.5.10 Hubungan TDS dengan DHL

Untuk mengetahui pola hubungan antara parameter total dissolve solid (TDS) dan daya hantar listrik (DHL), dilakukan analisis bivariante dengan pendekatan grafik scatter plot. Grafik ini menggambarkan sebaran data pada masing-masing titik pengamatan, yang merepresentasikan nilai konsentrasi TDS terhadap DHL di lokasi pengambilan sampel. Visualisasi hubungan ini ditampilkan pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 11 Scatter Plot Hubungan Antara TDS dan DHL

Berdasarkan hasil analisis bivariante antara parameter Total Dissolved Solids (TDS) dan Daya Hantar Listrik (DHL), diperoleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,3483, yang menunjukkan adanya hubungan positif lemah antara kedua parameter tersebut. Artinya, peningkatan kadar TDS cenderung diikuti oleh peningkatan nilai DHL, meskipun hubungan ini tidak terlalu kuat.

Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,1213 menunjukkan bahwa sekitar 12,13% variasi nilai DHL dapat dijelaskan oleh perubahan kadar TDS. Meskipun tidak tinggi, nilai ini lebih besar dibandingkan hubungan antarparameter lainnya, yang menunjukkan bahwa TDS memiliki pengaruh yang relatif lebih besar terhadap DHL dibandingkan parameter lainnya yang diuji.

Hubungan ini juga didukung secara teoritis, karena DHL pada air sangat dipengaruhi oleh jumlah ion-ion terlarut yang membawa muatan listrik. Kadar TDS yang tinggi biasanya menunjukkan kandungan ion yang lebih banyak, sehingga dapat meningkatkan konduktivitas listrik (DHL). Namun, variasi DHL tidak hanya ditentukan oleh jumlah total padatan terlarut, melainkan juga oleh jenis dan muatan ion yang larut, suhu air, serta faktor lingkungan lainnya. Oleh karena itu, meskipun ada kecenderungan hubungan, kekuatannya masih tergolong lemah. Grafik scatter plot menunjukkan sebaran titik data yang sedikit condong ke arah pola linear positif, namun masih terdapat cukup banyak penyebaran yang membuat korelasinya tidak terlalu kuat.

Dengan demikian, hubungan antara TDS dan DHL dapat disimpulkan sebagai positif lemah, dan meskipun tidak signifikan secara kuat, tetap menunjukkan keterkaitan yang lebih nyata dibandingkan hubungan antarparameter lainnya dalam penelitian ini.

Tabel ini memberikan gambaran kekuatan dan arah hubungan antarparameter, yang digunakan untuk mengidentifikasi keterkaitan potensial yang memengaruhi kerentanan kualitas air tanah di lokasi penelitian. Berdasarkan keseluruhan hasil analisis hubungan antarparameter kualitas air tanah, diperoleh ringkasan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) dan determinasi ( $R^2$ ) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4. 11 Tabel Rekapitulasi Nilai Korelasi dan Koefisien Determinasi

Nomor	Pasangan Variabel	Koefisien Korelasi (r)	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )	Arah dan Kekuatan Hubungan
1	Fe-Mn	$-1,403 \times 10^{-15}$ ,	$1,97 \times 10^{-30}$	Tidak terdapat korelasi linear
2	Fe-pH	0,065	0,004	Positif sangat lemah
3	Fe-TDS	-0,285	0,081	Negatif, lemah
4	Fe-DHL	-0,267	0,071	Negatif, lemah
5	Mn-pH	$-4,19 \times 10^{-16}$	$1,75 \times 10^{-31}$	Tidak terdapat korelasi linear
6	Mn-TDS	$-2,97 \times 10^{-11}$	$8,85 \times 10^{-32}$	Tidak terdapat korelasi linear
7	Mn-DHL	$1,82 \times 10^{-15}$	$3,32 \times 10^{-30}$	Tidak terdapat korelasi linear
8	pH-TDS	-0,250	0,062	Negatif,lemah
9	pH-DHL	-0,176	0,031	Negatif, sangat lemah
10	TDS-DHL	0,3483	0,1213	Positif,,lemah

Sumber : Data Primer, Excel (2025)

Berdasarkan hasil rekapitulasi yang ditampilkan pada Tabel 4.11, dapat diketahui bahwa kekuatan hubungan antarparameter kualitas air tanah di wilayah penelitian secara umum tergolong lemah hingga tidak terdapat korelasi linear yang signifikan. Sebagian besar pasangan parameter menunjukkan nilai koefisien korelasi (r) yang sangat rendah, baik dalam arah positif maupun negatif. Misalnya, hubungan antara Fe dan Mn ( $r = -1,403 \times 10^{-15}$ ), Mn dan pH ( $r = -4,19 \times 10^{-16}$ ), serta Mn dan TDS ( $r = -2,97 \times 10^{-11}$ ) menunjukkan tidak adanya korelasi linear yang berarti.

Adapun beberapa pasangan parameter lain seperti Fe-pH ( $r = 0,607$ ) menunjukkan korelasi positif sedang, yang berarti terdapat kecenderungan bahwa kenaikan pH sedikit banyak diikuti oleh kenaikan kadar Fe, meskipun kekuatannya tidak terlalu besar. Sementara itu, hubungan Fe-TDS, Fe-DHL, pH-DHL, dan TDS-

DHL termasuk dalam kategori lemah, baik dalam arah negatif maupun positif. Khusus pada pasangan pH-DHL ( $r = -0,394$ ) dan TDS-DHL ( $r = 0,348$ ), nilai korelasi menunjukkan adanya keterkaitan yang cukup terlihat namun tetap dalam kategori korelasi lemah.

Nilai determinasi ( $R^2$ ) yang rendah juga menguatkan bahwa kontribusi satu parameter dalam menjelaskan variasi parameter lain sangat kecil. Sebagai contoh, hubungan Fe-DHL hanya memiliki  $R^2$  sebesar 0,071, yang berarti hanya sekitar 7,1% variasi DHL dapat dijelaskan oleh variasi Fe.

Hasil ini menunjukkan bahwa antarparameter dalam penelitian ini tidak saling memengaruhi secara kuat, sehingga setiap parameter cenderung berdiri sendiri. Hal ini bisa disebabkan oleh faktor-faktor eksternal yang lebih kompleks seperti aktivitas manusia, kondisi geologi lokal, dan sistem sanitasi yang berbeda di tiap titik lokasi. Maka dari itu, meskipun analisis bivariante memberikan gambaran awal mengenai keterkaitan antarparameter, pendekatan ini tidak cukup untuk menjelaskan hubungan atau pola yang lebih mendalam, dan perlu dilengkapi dengan pendekatan lain dalam studi lanjutan.

#### **4.1.6 Pemetaan Spasial Dengan IDW**

Pemetaan spasial merupakan salah satu metode visualisasi yang digunakan untuk mengetahui persebaran parameter kualitas air tanah secara geografis di wilayah penelitian. Dalam penelitian ini, parameter yang dipetakan adalah konsentrasi logam berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn), yang merupakan dua parameter penting dalam menilai tingkat pencemaran maupun kerentanan air tanah. Dengan melakukan pemetaan, distribusi spasial dari kedua parameter ini dapat dianalisis untuk melihat wilayah-wilayah dengan konsentrasi tinggi maupun rendah, sehingga dapat menjadi dasar dalam penentuan area yang lebih rentan terhadap penurunan kualitas air tanah.

Proses pemetaan dilakukan menggunakan metode Interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) pada perangkat lunak ArcGIS Pro. Metode IDW bekerja berdasarkan asumsi bahwa nilai pada suatu lokasi dipengaruhi oleh kedekatannya dengan titik-titik data yang telah diketahui. Artinya, titik yang lebih dekat memiliki pengaruh lebih besar dalam menentukan nilai interpolasi dibandingkan titik yang lebih jauh. Metode ini dipilih karena sesuai untuk dataset dengan jumlah titik

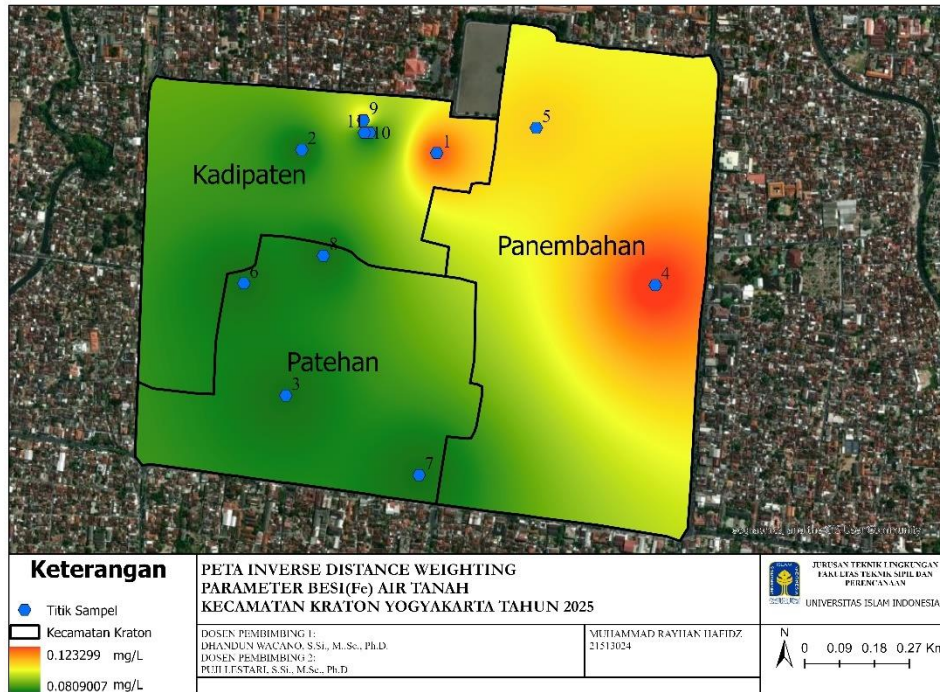
terbatas namun tersebar cukup merata di area penelitian, seperti halnya 11 titik sampel pada penelitian ini.

Sebelum dilakukan interpolasi, masing-masing titik sampel terlebih dahulu diberikan nilai konsentrasi berdasarkan hasil uji laboratorium. Untuk menjaga konsistensi dan akurasi, nilai-nilai yang berada di bawah batas deteksi alat (Limit of Detection/LOD) digantikan dengan nilai LOD itu sendiri, yaitu 0,0809 mg/L untuk Fe dan 0,0158 mg/L untuk Mn. Pendekatan ini digunakan agar tetap mencerminkan keberadaan logam dalam jumlah sangat kecil, tanpa menghilangkan nilainya dalam analisis spasial.

Melalui pendekatan ini, dihasilkan dua peta interpolasi yang menunjukkan sebaran spasial konsentrasi logam Fe dan Mn di Kecamatan Kraton. Interpretasi dari kedua peta tersebut akan dibahas pada subbab berikut.

#### 4.1.6.1 Peta Sebaran Konsentrasi Besi (Fe)

Peta hasil interpolasi IDW terhadap parameter Besi (Fe) menunjukkan bahwa sebaran konsentrasi Fe di wilayah Kecamatan Kraton tidak homogen.



Gambar 4. 12 Peta Interpolasi IDW Besi

Berdasarkan hasil pemetaan spasial menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW) sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.12, diketahui bahwa sebaran konsentrasi logam Besi (Fe) dalam air tanah di Kecamatan Kraton menunjukkan variasi yang cukup jelas antarwilayah. Nilai konsentrasi Fe yang dipetakan berada dalam kisaran 0,0809007 mg/L hingga 0,123299 mg/L, dan seluruhnya masih berada di bawah ambang batas baku mutu kualitas air minum berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023, yaitu sebesar 0,2 mg/L.

Peta menunjukkan bahwa konsentrasi Fe tertinggi berada pada wilayah timur Kecamatan Kraton, terutama di sekitar Kelurahan Panembahan, ditandai dengan gradasi warna kuning hingga jingga yang cukup pekat. Konsentrasi tinggi ini tampak terkonsentrasi pada titik-titik seperti T4 dan T5, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh kondisi hidrogeologi setempat, aktivitas manusia, atau sistem sumur gali yang tidak terlindungi dengan baik dari kontaminasi permukaan.

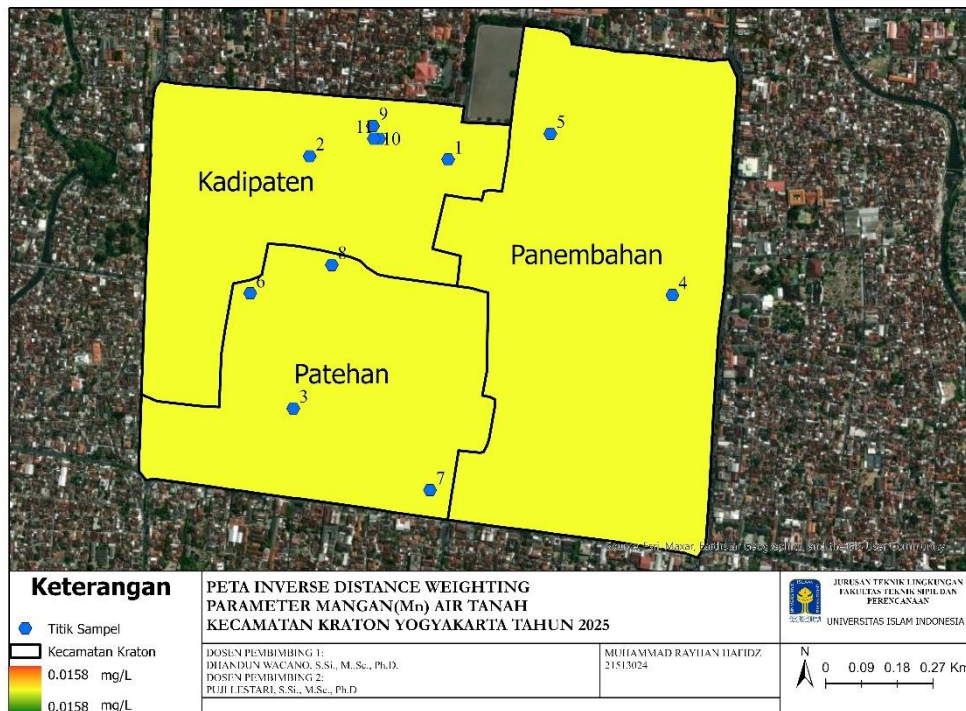
Keberadaan logam Fe dalam kadar lebih tinggi pada daerah ini juga dapat berkaitan dengan proses pelarutan alami mineral besi dari batuan di bawah permukaan tanah.

Sementara itu, area dengan konsentrasi Fe yang lebih rendah cenderung berada di bagian barat dan selatan, seperti wilayah Kelurahan Kadipaten dan Patehan, dengan gradasi warna hijau pada peta. Beberapa titik yang menunjukkan nilai konsentrasi rendah antara lain T3, T6, dan T7, yang mungkin dipengaruhi oleh kualitas sumber air tanah yang lebih baik atau sedikitnya aktivitas pencemar di sekitar lokasi tersebut.

Perbedaan sebaran ini menggambarkan bahwa meskipun secara umum kadar Fe masih dalam batas aman, namun terdapat perbedaan variasi konsentrasi air tanah antarwilayah. Oleh karena itu, wilayah dengan konsentrasi yang lebih tinggi perlu menjadi perhatian dalam upaya perlindungan kualitas air tanah, terutama jika wilayah tersebut digunakan sebagai sumber air konsumsi masyarakat. Selain itu, sebaran spasial ini dapat memberikan informasi awal yang penting dalam penentuan prioritas wilayah untuk pengawasan kualitas air tanah secara lebih lanjut.

#### **4.1.6.2 Peta Sebaran Konsentrasi Mangan (Mn)**

Hasil interpolasi spasial menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW) terhadap parameter Mangan (Mn) ditampilkan pada Gambar 4.13. Berdasarkan peta tersebut, distribusi konsentrasi Mn di wilayah Kecamatan Kraton menunjukkan pola sebaran yang sangat seragam dan minim variasi antar titik lokasi, berbeda dengan parameter Besi (Fe) yang sebelumnya menunjukkan sebaran yang lebih bervariasi dan terfokus di beberapa area. Gradasi warna pada peta IDW ini didominasi oleh warna kuning cerah yang merata di seluruh wilayah studi, mulai dari Kelurahan Kadipaten, Panembahan, hingga Patehan.



Gambar 4. 13 Peta Interpolasi IDW Mangan

Gradasi warna tersebut mencerminkan bahwa konsentrasi Mangan di hampir seluruh wilayah berada pada kisaran yang sangat rendah dan hampir seragam antar titik, yaitu di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan dalam regulasi kualitas air tanah. Tidak terdapat area dengan warna merah atau hijau yang mencolok seperti pada peta parameter Fe, yang menunjukkan bahwa tidak ada zona ekstrem baik dalam hal konsentrasi tinggi maupun rendah.

Sebaran Mn yang sangat homogen ini selaras dengan hasil analisis statistik sebelumnya, baik dalam bentuk deskriptif maupun korelasi bivariat. Nilai rata-rata Mn yang rendah, standar deviasi yang kecil, serta banyaknya titik dengan konsentrasi yang bahkan tidak terdeteksi menunjukkan bahwa parameter ini tidak mengalami fluktuasi yang signifikan antar lokasi. Selain itu, hasil analisis bivariat juga memperlihatkan bahwa hubungan Mn terhadap parameter lain seperti pH, TDS, maupun DHL sangat lemah atau bahkan tidak menunjukkan hubungan linier sama sekali.

Berdasarkan kondisi ini, dapat disimpulkan bahwa pengaruh sumber alami seperti pelarutan mineral maupun faktor antropogenik terhadap sebaran Mangan di

wilayah Kecamatan Kraton relatif tidak signifikan. Parameter Mn lebih mencerminkan karakteristik umum akuifer di wilayah tersebut yang cenderung stabil, daripada menunjukkan pengaruh dari aktivitas manusia atau kondisi geologis tertentu. Oleh karena itu, meskipun tetap penting untuk diperhatikan, parameter Mn tidak menjadi indikator utama dalam menilai variasi kualitas air tanah secara spasial di kawasan ini.

#### **4.1.7 Evaluasi Kesesuaian Terhadap Baku Mutu**

Evaluasi kesesuaian kualitas air tanah dilakukan untuk mengetahui apakah parameter logam berat seperti Besi (Fe) dan Mangan (Mn) telah memenuhi standar kualitas yang berlaku. Acuan baku mutu dalam penelitian ini mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, yang menetapkan ambang batas maksimum kandungan logam berat dalam air bersih untuk keperluan higiene dan sanitasi sebagai berikut:

- Besi (Fe) : 0,2 mg/L
- Mangan (Mn) : 0,1 mg/L

Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap 11 titik sampel di wilayah Kecamatan Kraton, seluruh konsentrasi Fe dan Mn berada di bawah ambang batas baku mutu. Konsentrasi maksimum Fe tercatat sebesar 0,1233 mg/L, sedangkan Mn ditetapkan secara seragam sebesar 0,0158 mg/L, sesuai dengan nilai *Limit of Detection* (LOD) yang digunakan untuk menggantikan hasil yang berada di bawah batas deteksi alat.

Hasil ini menunjukkan bahwa dari sisi parameter logam berat, kualitas air tanah di wilayah studi masih tergolong aman untuk keperluan higiene dan sanitasi. Namun, jika ditinjau dari hasil pemetaan spasial (IDW), terdapat pola sebaran konsentrasi yang menunjukkan kecenderungan akumulasi Fe di bagian tengah hingga timur laut wilayah, sementara Mn relatif merata namun dengan kecenderungan sedikit meningkat di bagian selatan dan barat daya.

Meskipun tidak ditemukan pelanggaran terhadap baku mutu, kedekatan nilai Fe terhadap ambang batas (0,2 mg/L) di beberapa titik tetap perlu menjadi perhatian. Hal ini dapat menjadi indikasi adanya potensi peningkatan yang mungkin terjadi akibat faktor geogenik (seperti pelapukan batuan) maupun aktivitas antropogenik seperti sistem sanitasi terbuka atau pembuangan limbah domestik.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa parameter kualitas air tanah di Kecamatan Kraton masih sesuai dengan baku mutu, tetapi diperlukan pemantauan berkala, perlindungan sumber air tanah, dan upaya preventif terhadap potensi pencemaran, agar kualitasnya tetap terjaga dalam jangka panjang.

#### **4.1.8 Mekanisme Hubungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dengan pH, Total Dissolved Solid (TDS), dan Daya Hantar Listrik (DHL)**

Hubungan antara Besi (Fe), Mangan (Mn), dan pH dalam air tanah erat kaitannya dengan kondisi geokimia di bawah permukaan. Dalam lingkungan yang sedikit asam dan miskin oksigen, Fe dan Mn cenderung larut dalam bentuk ion  $Fe^{2+}$  dan  $Mn^{2+}$ . Hal ini disebabkan karena kondisi reduktif memungkinkan logam tetap stabil dalam bentuk terlarut. Sebaliknya, pada kondisi basa dan oksidatif, Fe dan Mn akan mengalami oksidasi menjadi senyawa padat seperti  $Fe(OH)_3$  atau  $MnO_2$  yang kemudian mengendap. Pada lokasi penelitian di Kecamatan Kraton, pH air tanah cenderung berada pada kisaran 6–7, dengan dominasi sedikit asam. Kondisi ini memungkinkan Fe dan Mn tetap terlarut meskipun pada konsentrasi rendah, sebagaimana terlihat dari hasil uji laboratorium yang tidak melebihi baku mutu. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun korelasi statistik antara Fe, Mn, dan pH lemah, mekanisme kelarutan logam masih berjalan sesuai prinsip geokimia yang berlaku.

Hubungan Fe dan Mn dengan Total Dissolved Solid (TDS) dapat dipahami melalui kontribusi logam-logam tersebut terhadap jumlah total zat terlarut dalam air tanah. TDS merepresentasikan total konsentrasi mineral anorganik, garam, serta logam yang larut. Dalam konteks penelitian ini, Fe dan Mn hanya menyumbang sebagian kecil dari total TDS, sehingga variasi nilainya tidak terlalu dominan. Nilai TDS yang relatif rendah di sebagian besar titik penelitian dapat dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat yang didominasi batuan vulkanik muda. Batuan jenis ini umumnya masih memiliki tingkat pelapukan yang rendah, sehingga pelepasan mineral terlarut ke dalam air tanah juga terbatas. Dengan demikian, meskipun Fe dan Mn terdeteksi dalam analisis laboratorium, kontribusinya terhadap variasi TDS lebih kecil dibandingkan ion-ion utama lain seperti kalsium, magnesium, atau natrium.

Hubungan antara Besi (Fe), Mangan (Mn), dan Daya Hantar Listrik (DHL) dalam air tanah erat kaitannya dengan kandungan ion-ion terlarut yang ada dalam

sistem akuifer. DHL pada dasarnya mencerminkan kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik, yang sangat dipengaruhi oleh jumlah total ion bermuatan positif maupun negatif di dalam air. Dalam penelitian ini, nilai DHL yang terukur berada pada rentang 0,250 hingga 0,525  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , jauh di bawah baku mutu acuan sebesar 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Rendahnya nilai DHL ini menunjukkan bahwa konsentrasi ion terlarut dalam air tanah relatif kecil. Kondisi tersebut sejalan dengan rendahnya konsentrasi Fe dan Mn, yang sebagian besar bahkan berada di bawah batas deteksi alat. Salah satu faktor yang memengaruhi adalah kondisi geologi wilayah penelitian, yaitu adanya endapan vulkanik muda Merapi yang mineralnya masih relatif segar dan belum banyak mengalami proses pelapukan. Akibatnya, pelepasan ion-ion logam dari mineral penyusun batuan ke dalam air tanah menjadi terbatas, sehingga tidak hanya menekan kadar Fe dan Mn, tetapi juga menghasilkan nilai DHL yang rendah. Oleh karena itu, rendahnya Fe dan Mn berkontribusi terhadap rendahnya DHL, namun karena DHL juga dipengaruhi oleh ion-ion lain (misalnya  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , dan  $\text{HCO}_3^-$ ), maka hubungan antara Fe–Mn dengan DHL cenderung lemah secara statistik.

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dengan pH, TDS, serta DHL di wilayah penelitian menunjukkan korelasi yang lemah hingga tidak signifikan secara statistik. Hal ini terutama dipengaruhi oleh rendahnya konsentrasi Fe dan Mn di hampir semua titik pengamatan, yang sebagian besar berada di bawah batas deteksi alat. Kondisi geologi setempat yang didominasi oleh endapan vulkanik muda menyebabkan kandungan mineral relatif masih stabil sehingga pelepasan logam ke air tanah sangat terbatas. Faktor ini berimplikasi langsung pada rendahnya TDS dan DHL yang terukur. Walaupun demikian, secara geokimia dapat dijelaskan bahwa pH berperan penting dalam menentukan kelarutan Fe dan Mn, TDS mencerminkan akumulasi zat terlarut termasuk logam, dan DHL menunjukkan total ion yang ada dalam air. Dengan demikian, meskipun secara kuantitatif hubungan antarparameter tidak terlihat kuat, pendekatan kualitatif tetap penting untuk memahami bahwa kondisi lingkungan, terutama karakteristik geologi dan sifat kimia air tanah, sangat memengaruhi perilaku Fe dan Mn dalam sistem akuifer.

#### **4.1.9 Hasil Responden Kusioner Warga**

Berdasarkan hasil kuesioner dan observasi lapangan di 11 titik pengambilan sampel air tanah, diperoleh informasi mengenai karakteristik sumur, kondisi lingkungan sekitar, serta praktik penggunaan air dan sistem sanitasi. Data ini menjadi pelengkap dalam memahami faktor-faktor yang mungkin berkaitan dengan kualitas air tanah di wilayah Kecamatan Kraton.

Sebagian besar titik pengambilan sampel menggunakan jenis sumur bor dengan kedalaman bervariasi, mulai dari kurang dari 10 meter hingga lebih dari 20 meter. Umur sumur juga tidak seragam, terdapat sumur yang telah berusia lebih dari 100 tahun, seperti pada titik rumah warga dan RTHP Rotowijayan, hingga sumur yang baru berumur sekitar 20 tahun. Umur dan kedalaman sumur merupakan aspek penting karena berpotensi memengaruhi kualitas air tanah, terutama jika lapisan akuifer dangkal telah mengalami tekanan dari aktivitas manusia dalam jangka panjang.

Terkait penggunaan air, sebagian besar responden menggunakan air tanah untuk kebutuhan dasar seperti mandi (MCK), mencuci, memasak, dan bahkan minum. Meskipun sebagian titik dilengkapi dengan layanan PDAM, tidak semua titik memiliki sumber air tambahan, yang berarti ketergantungan terhadap air tanah masih cukup tinggi di beberapa lokasi, terutama di kawasan pemukiman padat dan institusi pendidikan.

Dari sisi sanitasi, mayoritas titik telah memiliki septic tank dengan jarak rata-rata 10 meter dari sumur. Namun, terdapat satu titik dengan jarak septic tank kurang dari 10 meter (SDN Panembahan), yang secara teknis tidak memenuhi rekomendasi minimal jarak aman untuk mencegah potensi perembesan limbah domestik ke dalam sumur. Selain itu, sistem pembuangan limbah yang digunakan juga bervariasi. Beberapa titik menggunakan sistem sewerage tertutup, sementara titik lainnya masih mengandalkan saluran terbuka, sistem resapan, atau bahkan langsung ke selokan tanah. Kondisi ini bisa memberikan tekanan lingkungan yang berbeda terhadap sumur, terutama di area dengan drainase buruk atau kepadatan bangunan tinggi.

Permasalahan air dari sekian banyak titik lokasi beragam, ada permasalahan warna air yang pernah bewarna cokelat, air yang ketika dicium seperti terpapar

kandungan besi, dan masalah kuantitas airnya. Permasalahan air yang sering muncul di beberapa titik adalah kekeringan pada saat musim kemarau, terjadi kekeringan menunjukkan bahwa yang menjadi masalah adalah kuantitas air tanahnya dan bukan dari segi kualitas air yang tercemar dan sebagainya.

Menariknya, pada titik 1 (Kantor Kemantren Kraton), saat pengambilan sampel berlangsung, terdapat aktivitas membatik yang sedang dilakukan tidak jauh dari lokasi pengambilan air. Air kran yang digunakan kemungkinan besar sebelumnya telah digunakan dalam proses tersebut. Proses membatik biasanya menggunakan bahan kimia dan pewarna, sehingga meskipun tidak langsung terlihat, paparan sisa air bekas proses ini bisa saja memengaruhi kandungan unsur tertentu pada air yang diuji, seperti logam berat.

Secara keseluruhan, informasi yang diperoleh dari responden ini memberikan gambaran penting mengenai kebiasaan masyarakat dalam memanfaatkan air tanah serta kondisi sanitasi lingkungan yang menyertainya. Meskipun hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kadar besi dan mangan masih berada di bawah ambang batas, keberagaman kondisi lingkungan ini menunjukkan adanya perbedaan tingkat paparan terhadap sumber pencemar dari satu titik ke titik lainnya. Oleh karena itu, hasil kuesioner ini tidak hanya berfungsi sebagai data pendukung, tetapi juga dapat menjadi landasan dalam memahami konteks hasil laboratorium secara lebih menyeluruh.

## **4.2 Pembahasan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kualitas air tanah di wilayah Kecamatan Kraton, Kota Yogyakarta, dengan fokus utama pada parameter logam berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn), serta parameter pendukung seperti pH, TDS, dan DHL. Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa seluruh parameter logam yang diuji berada di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. Konsentrasi tertinggi untuk Fe sebesar 0,1233 mg/L, sedangkan nilai Mn di seluruh titik adalah seragam sebesar 0,0158 mg/L, karena hasil laboratorium menunjukkan bahwa semua nilai Mn berada di bawah batas deteksi alat (LOD), dan pendekatan yang digunakan adalah mengganti nilai tersebut dengan nilai LOD.

Secara spasial, konsentrasi Fe menunjukkan variasi antar titik, dengan nilai tertinggi berada di wilayah timur laut Kecamatan Kraton. Pemetaan menggunakan metode interpolasi IDW menunjukkan bahwa sebaran Fe cenderung tidak merata, yang bisa dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat, jenis tanah, serta aktivitas antropogenik. Sementara itu, untuk parameter Mn, karena seluruh nilai yang digunakan adalah sama, maka peta interpolasi Mn tidak menunjukkan variasi nyata. Sebaran warna pada peta Mn hanya menggambarkan distribusi teknis dari metode interpolasi, bukan variasi konsentrasi sebenarnya. Oleh karena itu, interpretasi spasial pada Mn tidak relevan untuk dianalisis lebih lanjut.

Pada bagian analisis hubungan antarparameter atau bivariate, diketahui bahwa sebagian besar parameter tidak saling berkaitan secara kuat. Beberapa parameter seperti hubungan Fe dengan Mn, Mn dengan pH, Mn dengan TDS, dan Mn dengan DHL tidak menunjukkan adanya hubungan sama sekali. Hal ini kemungkinan disebabkan karena nilai Mn yang seragam di semua titik, sehingga tidak bisa dibandingkan secara statistik.

Sementara itu, hubungan antara Fe dan pH yang sebelumnya sempat menunjukkan hubungan yang sedang, dengan nilai korelasi ( $r$ ) sebesar 0,065. Nilai ini sangat kecil, sehingga bisa dikatakan tidak ada hubungan yang berarti antara Fe dan pH. Begitu juga dengan hubungan pH terhadap TDS dan DHL, nilainya menunjukkan hubungan yang lemah. Misalnya, hubungan pH dan TDS memiliki korelasi sebesar -0,25, dan pH dengan DHL sebesar -0,17. Ini artinya, saat pH air lebih rendah (lebih asam), nilai TDS dan DHL cenderung sedikit meningkat. Namun, karena hubungannya lemah, hal ini tidak bisa dijadikan dasar untuk menarik kesimpulan yang kuat. Nilai pH di sebagian besar titik pengambilan sampel berada pada angka 6, dan hanya dua titik yang memiliki nilai pH sebesar 7, sehingga rentang variasi pH yang sempit ini menjadi salah satu alasan mengapa korelasi dengan parameter lain menjadi sangat lemah. Begitu juga dengan parameter Mn yang tidak bervariasi antar titik, sehingga hubungan statistik dengan parameter lain tidak bisa digambarkan secara bermakna.

Secara umum, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa kualitas air tanah di Kecamatan Kraton masih tergolong aman berdasarkan parameter yang diuji. Namun, temuan adanya variasi Fe di beberapa titik serta korelasinya dengan pH

memberikan indikasi bahwa faktor lingkungan seperti keasaman tanah dan aktivitas manusia dapat berperan dalam memengaruhi konsentrasi logam terlarut. Oleh karena itu, meskipun belum melampaui ambang batas, perlu dilakukan pemantauan rutin dan pengelolaan sumber air tanah secara berkelanjutan untuk mencegah terjadinya penurunan kualitas air di masa mendatang.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis statistik dan pemetaan spasial terhadap parameter kualitas air tanah di Kecamatan Kraton, Yogyakarta, dapat disimpulkan bahwa:

1. Konsentrasi parameter logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) di seluruh titik pengambilan sampel berada di bawah ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh Permenkes No. 2 Tahun 2023, yaitu 0,2 mg/L untuk Besi (Fe) dan 0,1 mg/L untuk Mangan (Mn). Nilai Fe tertinggi ditemukan sebesar 0,1233 mg/L, sedangkan Mn berada pada batas deteksi laboratorium yaitu 0,0158 mg/L secara seragam di semua titik.
2. Sebaran spasial berdasarkan metode interpolasi IDW menunjukkan bahwa nilai Fe cenderung sedikit lebih tinggi di wilayah tengah hingga timur laut Kecamatan Kraton. Sedangkan sebaran Mn tidak menunjukkan variasi spasial karena nilai konsentrasinya sama di seluruh titik.
3. Analisis hubungan antarparameter (bivariate) menunjukkan bahwa sebagian besar parameter kualitas air tanah tidak memiliki hubungan korelasi yang kuat. Hubungan Fe-pH ( $r=0,065$ ) memiliki hubungan sangat lemah. Sedangkan untuk hubungan Fe-TDS, Fe-DHL, pH-TDS, dan TDS-DHL memiliki korelasi lemah. Sementara itu, hubungan lainnya seperti Fe-Mn, Mn-TDS, Mn-DHL, dan Mn-pH tidak menunjukkan korelasi yang bermakna, yang kemungkinan disebabkan oleh nilai Mn yang identik di seluruh titik sampel, sehingga tidak memungkinkan terjadinya variasi hubungan secara statistik.
4. Kusioner atau Responden warga menunjukkan bahwa sebagian besar masyarakat menggunakan air tanah sebagai sumber utama untuk mandi, mencuci, dan kegiatan rumah tangga lainnya. Namun, ada juga beberapa warga yang menggunakan air tanah untuk konsumsi. Hal ini menunjukkan pentingnya menjaga kualitas air tanah agar tetap aman dan layak digunakan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, berikut beberapa saran yang bisa dipertimbangkan:

1. Pemerintah daerah Kota Yogyakarta diharapkan melakukan pemantauan berkala terhadap kualitas air tanah, khususnya terhadap parameter logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn), guna mencegah potensi pencemaran di masa mendatang.
2. Peneliti selanjutnya disarankan menggunakan jumlah titik pengambilan sampel yang lebih banyak dan melibatkan parameter tambahan seperti nitrat, amonia, atau bakteriologis agar dapat memberikan gambaran kualitas air tanah yang lebih komprehensif.
3. Masyarakat diharapkan dapat meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga kebersihan lingkungan sekitar sumur atau sumber air untuk menghindari kontaminasi dari aktivitas domestik.
4. Dalam pengukuran pH air tanah, disarankan untuk menggunakan alat ukur yang lebih presisi seperti pH meter digital atau multiparameter. Hal ini penting karena penggunaan kertas lakmus atau pH meter cenderung menghasilkan pembacaan yang terbatas pada angka bulat, seperti 6 atau 7, tanpa menangkap nilai desimal sebenarnya (misalnya 6,4 atau 6,7). Akibatnya, data yang diperoleh bisa kurang merepresentasikan kondisi pH yang sebenarnya di lapangan. Dengan alat yang lebih akurat, hasil pengukuran akan lebih valid dan mendukung analisis yang lebih tepat dalam penelitian kualitas air tanah.
5. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk lebih memperhatikan kondisi lingkungan sekitar saat pengambilan sampel, terutama jika terdapat aktivitas yang menggunakan air secara langsung sebelum sampel diambil, seperti kegiatan membatik. Hal ini penting agar air yang digunakan sebagai sampel tidak terpengaruh oleh aktivitas tersebut, sehingga hasil pengujian di laboratorium dapat mencerminkan kondisi kualitas air tanah yang sebenarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N., Afifudin, A., Haris, A. N., Indrastuti, A. N., Purwanto, D., Kintoro, F. S., Bagaskara, R. A., & Astabella, R. D. (2022). *Kajian Kerentanan Airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Wates Kabupaten Kulon Progo. Media Komunikasi Geografi*, 23(1), 25–43. <https://doi.org/10.23887/mkg.v23i1.42198>
- Aji, M. T., & Jailani, A. Q. (2020). Study of Groundwater Quality in Magelang City Due to the Impact of Domestic and Industrial Waste. *Journal of Aquaculture Science*, 5(2), 120–128. <https://doi.org/10.31093/joas.v5i2.122>
- Awliahasanah, Rahma, Dheva Nurlita Sari Nurlita Sari, Delli Yanti, Ervina Dyah Azrinindita, Dina Ghassani, Nyimas Syifa Maulidia, and Desy Sulistiyorini. (2021). “Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Kandungan Mangan Pada Air Sumur Warga Kota Depok.” *Jurnal Sanitasi Lingkungan* 1(2):80–86. doi: 10.36086/salink.v1i2.1051.
- Candra, Agus. (2018). “Sistem Pengolahan Dan Analisis Kualitas Air Minum Secara Fisika Dan Kimia Di Pdam Tirtamarta Yogyakarta Berdasarkan Permenkes” *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan* .4(3):174–81.
- Citaningtyas, S. D. (2019). Uji Kualitas Air Tanah Warga Terhadap Sumber Potensi Cemaran Berdasarkan Keadaan Ekologis Di Kampung Soropadan, Depok, Sleman, Yogyakarta. Universitas Sanata Dharma.
- Fauziah, Adelina. (2010). Efektivitas Saringan Pasir Cepat Dalam Menurunkan Kadar Mangan (Mn) Pada Air Sumur Dengan Penambahan Kalium Permanganat (KMnO<sub>4</sub>) 1%. Skripsi FKM USU : Medan
- Febrina, L., & Ayuna, A. (2015). U n i v e r s i t a s m u h a m m a d i y a h j a k a r t a studi penurunan kadar besi (fe) dan mangan (mn) dalam air tanah menggunakan saringan keramik. In *Januari* (Vol. 7, Issue 1).
- Guo, X., Zuo, R., Meng, L., Wang, J., Teng, Y., Liu, X., & Chen, M. (2018). Seasonal and spatial variability of anthropogenic and natural factors influencing groundwater quality based on source apportionment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph15020279>

- Hidayat, F. N., et al. (2014). Bab II – Sistem Informasi Geografis. Poltekkes Kemenkes Yogyakarta.
- Indeks Pencemaran pada Parameter Fisika-Kimia: Studi Kasus terhadap Pengaruh Curah Hujan di Sungai Code. (n.d.).
- Islam, M. S., & Mostafa, M. G. (2023). Occurrence, Source, and Mobilization of Iron, Manganese, and Arsenic Pollution in Shallow Aquifer. *Geofluids*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6628095>
- Khusnawati, N.A & Kusuma, A. P. (2020). SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PEMETAAN POTENSI WILAYAH PETERNAKAN MENGGUNAKAN WEIGHTED OVERLAY. In *Jurnal MNEMONIC* (Vol. 3, Issue 2).
- Maria, R., Mulyadi, D., & Lestiana, H. (2014). Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Kualitas Airtanah Bebas Di Pangalengan Kabupaten Bandung. 13.
- Moh., S., & Rodhi, N. N. (2024). EDUKASI MASYARAKAT PEDULI AIR BERSIH DALAM UPAYA PENINGKATAN PENGETAHUAN MASYARAKAT TENTANG AIR BERSIH. *Jurnal Abdimas Mandiri*, 8(3), 416–424. <https://doi.org/10.36982/jam.v8i3.4698>
- Mukarromah, R.(2016). Analisis Sifat Fisis dalam Studi Kualitas Air di Mata Air Sumber.
- Nugroho, B, A., Miswadi, S. S., & Santosa, N, B. (2014). Penggunaan Serbuk Biji Kelor Untuk Menurunkan Kadar Pb, Kekeruhan dan Intensitas Warna. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 3(3): 174-178
- Nur Oktavia Nikmatin Hasanah, & Yayok Suryo Purnomo. (2024). Analisis Kadar Mangan (Mn) dan Besi (Fe) Pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA 3) PT Hanarida Tirta Birawa. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik* , 2(3), 36–41. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i3.295>
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan
- Qomariyah, N, Yanti, R. (2018). Uji Kuantitatif Kadar Zat Besi Dalam Tumbuhan Kelakai Dan Produk Olahannya. *Jurnal Surya Medika*. 3(2) 32-40. (n.d.).
- Rusdiana,(2016). Bahan Ajar Gizi Metabolisme Mineral. Semarang: Poltekkes.

- Ruseffandi, P. M., & Gusman, M. (2020). Pemetaan Kualitas Airtanah Berdasarkan Parameter Total Dissolved Solid (TDS) dan Daya Hantar Listrik (DHL) dengan Metode Ordinary Kriging. *Jurnal Bina Tambang*, 5(1).
- Sarjanti, E., & Bregasnia, W. (2020). 25) *Kajian Pola Aliran Air Tanah Di Area Kampus Utama Universitas Muhammadiyah Purwokerto A Study of Groundwater Flow Pattern in Area of Main Campus of Universitas Muhammadiyah Purwokerto*. 17(1).
- Sudiartawan, I. P. (2021). *KUALITAS AIR SUMUR GALI DI SEKITAR PASAR DESA YEHEMBANG KECAMATAN MENDOYO KABUPATEN JEMBRANA*.
- Sunarsih, E., Faisya, A. F., Windusari, Y., Trisnaini, I., Arista, D., Septiawati, D., Ardila, Y., Purba, I. G., & Garmini, R. (2018). Analisis Paparan Kadmium, Besi, Dan Mangan Pada Air Terhadap Gangguan Kulit Pada Masyarakat Desa Ibul Besar Kecamatan Indralaya Selatan Kabupaten Ogan Ilir. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN INDONESIA*, 17(2), 68. <https://doi.org/10.14710/jkli.17.2.68-73>
- Tchobanoglous, George., Burton, F. L. ., & Stensel, H. David. (2004). *Wastewater engineering : treatment and reuse*. McGraw-Hill.
- Vaessen, V., & Brentfuhrer, R. (2015). *Module Groundwater and Environment. Integration of Groundwater Management Into Transboundary Basin Organization in Africa*. (n.d.).
- Warsyidah, A. A., Syarif, J., & Abdullah, C. (n.d.). *ANALISIS KADAR MANGAN (Mn) PADA AIR ALKALI DENGAN MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER SERAPAN ATOM (SSA)*.
- Xie, F., Li, X., Yang, Q., Meng, Y., & Luan, F. (2025). Mobilization of heavy metals from floodplain sediments of the Yellow River during redox fluctuations. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 150, 432–439. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.03.041>
- Zhai, Y., Cao, X., Xia, X., Wang, B., Teng, Y., & Li, X. (2021). Elevated fe and mn concentrations in groundwater in the songnen plain, northeast china, and the factors and mechanisms involved. *Agronomy*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy11122392>

## LAMPIRAN

Kuisisioner (Desa) RT /RW	
1	Nama Responden <i>Ibu Tami</i>
2	Alamat <i>Kecamatan Kraton</i>
3	Jumlah Anggota Keluarga
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan <input type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input checked="" type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah
6	Umur Sumur <i>± 20 tahun</i>
7	Penggunaan Air <i>Menyiram tanaman</i>
8	Sumber Air Bersih <input type="checkbox"/> PDAM <input type="checkbox"/> Sumur Gali <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Bor <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank <input checked="" type="checkbox"/> Iya <input type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank <i>± 10 m</i>
11	Jarak Saluran Air Limbah
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut <input type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input checked="" type="checkbox"/> Sewerage <input type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur <i>± 10 m</i>
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan <i>Menyiram tanaman</i>
15	Riwayat Penyakit Akibat Air
16	Permasalahan Air <i>Bewarna coklat, bau besi pada PDAM</i>

Lampiran 1. Kuisisioner Kecamatan Kraton

Kuisisioner (Desa) RT /RW		
1	Nama Responden	Ibu Nana
2	Alamat	SDN Kraton
3	Jumlah Anggota Keluarga	3
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan	<input type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input checked="" type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah	$\pm 70 m^2$
6	Umur Sumur	> 20 tahun
7	Penggunaan Air	cuci, minum, masak, dan keperluan rumah tangga
8	Sumber Air Bersih	<input checked="" type="checkbox"/> PDAM <input type="checkbox"/> Sumur Gali <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Bor <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank	<input checked="" type="checkbox"/> Iya <input type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank	$\pm 10 m$
11	Jarak Saluran Air Limbah	$\pm 10 m$
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut	<input type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input checked="" type="checkbox"/> Sewerage <input type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur	$\pm 10 m$
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan	$\pm 50 l$
15	Riwayat Penyakit Akibat Air	-
16	Permasalahan Air	-

Lampiran 2 Kuisisioner Sd Negeri Kraton

Kuisisioner (Desa) RT /RW		
1	Nama Responden	Pak Sunarto / Bu Titis
2	Alamat	SMP 16 YK
3	Jumlah Anggota Keluarga	
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan	<input type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input checked="" type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah	2970 ha
6	Umur Sumur	> <del>30</del> 50 tahun
7	Penggunaan Air	Menyiram tanaman, cuci, musolla,
8	Sumber Air Bersih	<input type="checkbox"/> PDAM <input type="checkbox"/> Sumur Gali <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Bor <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank	<input checked="" type="checkbox"/> Iya <input type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank (2)	$\pm 10$ m
11	Jarak Saluran Air Limbah	$\pm 10$ m
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut	<input type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input checked="" type="checkbox"/> Sewerage <input type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur	> 20 m
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan	110 l
15	Riwayat Penyakit Akibat Air	-
16	Permasalahan Air	- Kekurangan (saat kemarau) - Bau kearahkan air

Lampiran 3 Kuisisioner Smp Negeri 16 Yogyakarta

Kuisisioner (Desa) RT /RW		
1	Nama Responden	Ade Kusuma Haji
2	Alamat	SDN Panambahan
3	Jumlah Anggota Keluarga	-
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan	<input type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input checked="" type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah	1000 m <sup>2</sup>
6	Umur Sumur	± 20 tahun
7	Penggunaan Air	Kamar mandi, sholat, dan aktivitas lainnya
8	Sumber Air Bersih	<input checked="" type="checkbox"/> PDAM <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Gali <input type="checkbox"/> Sumur Bor <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank	<input checked="" type="checkbox"/> Iya <input type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank	< 10 m
11	Jarak Saluran Air Limbah	± 10 m
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut	<input type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input checked="" type="checkbox"/> Sewerage <input type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur	-10 m
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan	226 + 25
15	Riwayat Penyakit Akibat Air	-
16	Permasalahan Air	-

Lampiran 4 Kuisisioner Sd Negeri Panambahan

Kuisisioner (Desa) RT /RW		
1	Nama Responden	Mba Jimi Ayu
2	Alamat	SDN keputran 1
3	Jumlah Anggota Keluarga	Belum keluarga
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan	<input type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input checked="" type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah	$\pm 1000 \text{ m}^2$
6	Umur Sumur	> 20 tahun
7	Penggunaan Air	Mck, cuci tangan, dan minum
8	Sumber Air Bersih	<input checked="" type="checkbox"/> PDAM <input type="checkbox"/> Sumur Gali <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Bor <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank	<input checked="" type="checkbox"/> Iya <input type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank	$\pm 10 \text{ m}$
11	Jarak Saluran Air Limbah	$\pm 10 \text{ m}$
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut	<input type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input checked="" type="checkbox"/> Sewerage <input type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur	$\pm 10 \text{ m}$
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan	321 + 27
15	Riwayat Penyakit Akibat Air	—
16	Permasalahan Air	Kekeringan Pdam (Cokelat)

Lampiran 5 Sd Negeri Keputran 1

Kuisisioner (Desa) RT /RW	
1	Nama Responden Pak Supardiko
2	Alamat SDN keputran 2
3	Jumlah Anggota Keluarga 3
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan <input type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input checked="" type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah $\pm 1,5$ ha
6	Umur Sumur > 50 tahun
7	Penggunaan Air Mck, wudhu, dan aktivitas harian
8	Sumber Air Bersih <input checked="" type="checkbox"/> PDAM (antisipasi) <input type="checkbox"/> Sumur Gali <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Bor (prioritas) <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank <input checked="" type="checkbox"/> Iya (lebih dari 10) <input type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank $\pm 10$ m
11	Jarak Saluran Air Limbah $\pm 10$ m
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut <input type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input checked="" type="checkbox"/> Sewerage <input type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur $\pm 15$ m
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan
15	Riwayat Penyakit Akibat Air -
16	Permasalahan Air -

Lampiran 6 Kuisisioner Sd Negeri Keputran 2

Kuisisioner (Desa) RT /RW		
1	Nama Responden	Ibu Retno
2	Alamat	SDN KEPUTRAN A
3	Jumlah Anggota Keluarga	5
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan	<input type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input checked="" type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah	$\pm 700 \text{ m}^2$
6	Umur Sumur	> 20 tahun
7	Penggunaan Air	MCK, kebutuhan utama
8	Sumber Air Bersih	<input type="checkbox"/> PDAM <input type="checkbox"/> Sumur Gali <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Bor <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input checked="" type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank	<input type="checkbox"/> Iya <input checked="" type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank	$\pm 10 \text{ m}$
11	Jarak Saluran Air Limbah	$\pm 100 \text{ m}$
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut	<input type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input checked="" type="checkbox"/> Sewerage <input checked="" type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur	$\pm 15 \text{ m}$
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan	498 $\pm$ 36
15	Riwayat Penyakit Akibat Air	-
16	Permasalahan Air	- Pada saat kemarau kering - keruh terkadang

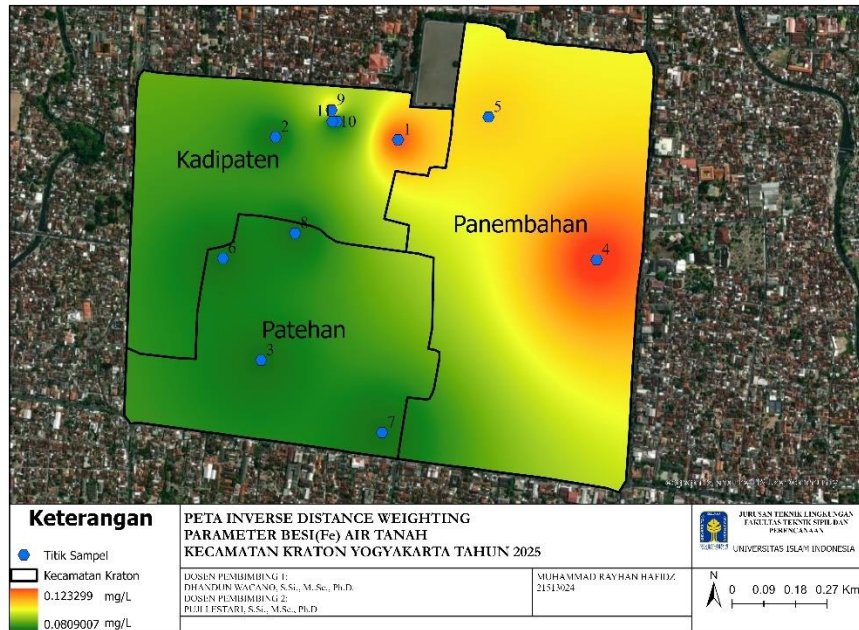
Lampiran 7 Kuisisioner Sd Negeri Keputran A

Kuisisioner (Desa) RT /RW		
1	Nama Responden	Mba Evi
2	Alamat	Pasar Ngasam
3	Jumlah Anggota Keluarga	3
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan	<input type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input checked="" type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah	
6	Umur Sumur	> 20 tahun
7	Penggunaan Air	Keperluan Aktivitas Pasar
8	Sumber Air Bersih	<input checked="" type="checkbox"/> PDAM <input type="checkbox"/> Sumur Gali <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Bor <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank	<input checked="" type="checkbox"/> Iya <input type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank	± 10 m
11	Jarak Saluran Air Limbah	± 10 m
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut	<input type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input checked="" type="checkbox"/> Sewerage <input type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur	± 10 m
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan	+ 100'
15	Riwayat Penyakit Akibat Air	-
16	Permasalahan Air	~

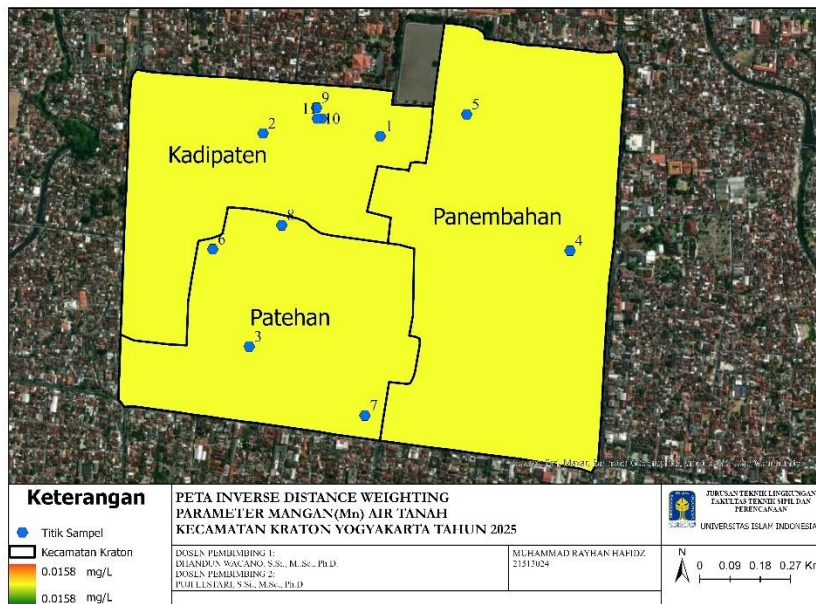
Lampiran 8 Kuisisioner Pasar Ngasam

Kuisisioner (Desa) RT /RW		
1	Nama Responden	Ari Sugiyanto
2	Alamat	Jalan Rotowijayan KAP 2
3	Jumlah Anggota Keluarga	7
4	Jumlah Pendapatan per-Bulan	<input checked="" type="checkbox"/> < Rp 1.000.000 <input type="checkbox"/> Rp 1.000.000 - Rp 2.500.000 <input type="checkbox"/> > Rp 2.500.000
5	Luas Bangunan Rumah	8x10
6	Umur Sumur	> 100 tahun
7	Penggunaan Air	MCK, Minum, cuci kendaraan, cuci Pakaian
8	Sumber Air Bersih	<input checked="" type="checkbox"/> PDAM <input type="checkbox"/> Sumur Gali <input checked="" type="checkbox"/> Sumur Bor <input type="checkbox"/> Penjual Air <input type="checkbox"/> Air Hujan <input type="checkbox"/> Lainnya
9	Memiliki Septic Tank	<input type="checkbox"/> Iya <input checked="" type="checkbox"/> Tidak
10	Jarak Septic Tank	-
11	Jarak Saluran Air Limbah	± 5 m
12	Kemana Air Buangan/Limbah tersebut	<input checked="" type="checkbox"/> Sungai <input type="checkbox"/> Drainase <input type="checkbox"/> Sewerage <input type="checkbox"/> Selokan Tanah/Sumur Resapan <input type="checkbox"/> Lainnya
13	Kedalaman Sumur	± 12 m
14	Kebutuhan Air Bersih / Bulan	8 kk
15	Riwayat Penyakit Akibat Air	-
16	Permasalahan Air	-

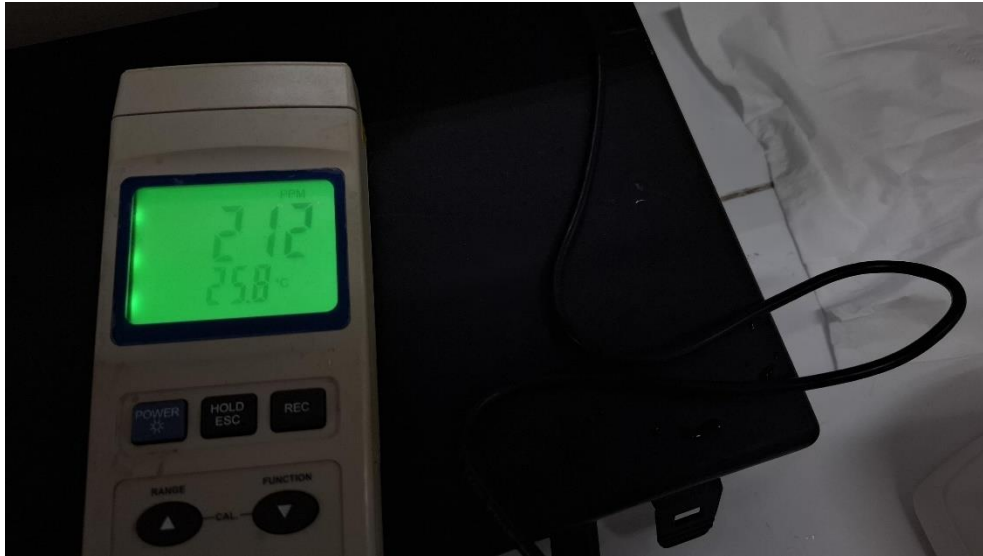
Lampiran 9. Kuisisioner RTHP Rotowijayan, Sumur warga 1, dan 2



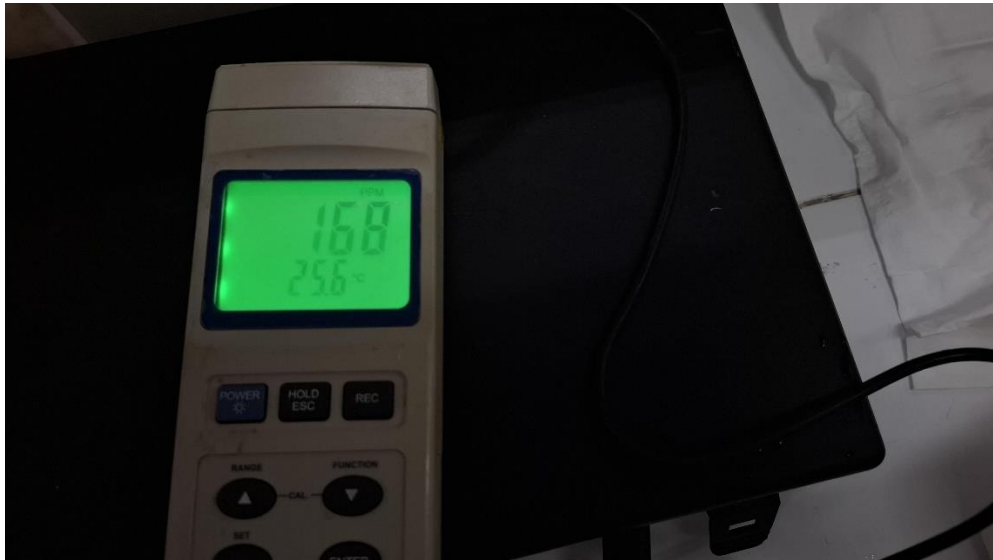
Lampiran 10 Peta Idw Besi (Fe)



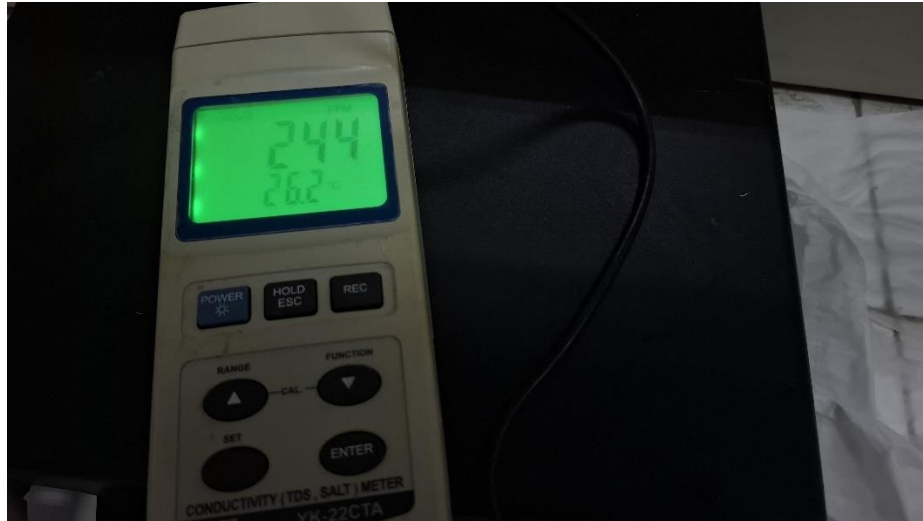
Lampiran 11 Peta Idw Mangan (Mn)



Lampiran 12 Hasil Pengukuran TDS T1



Lampiran 13 Hasil Pengukuran TDS T2



Lampiran 14 Hasil Pengukuran TDS T3 Dan T11



Lampiran 15 Hasil Pengukuran TDS T4



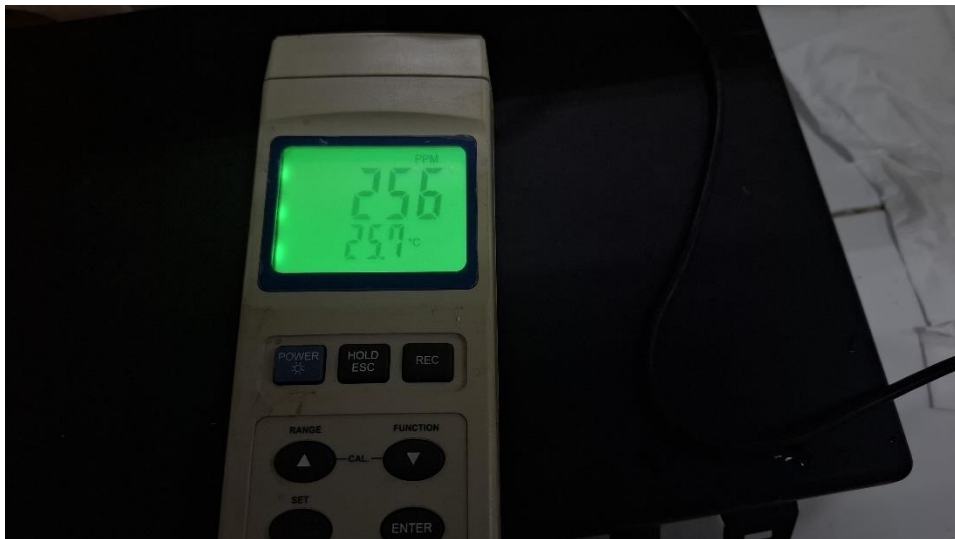
Lampiran 16 Hasil Pengukuran TDS T5



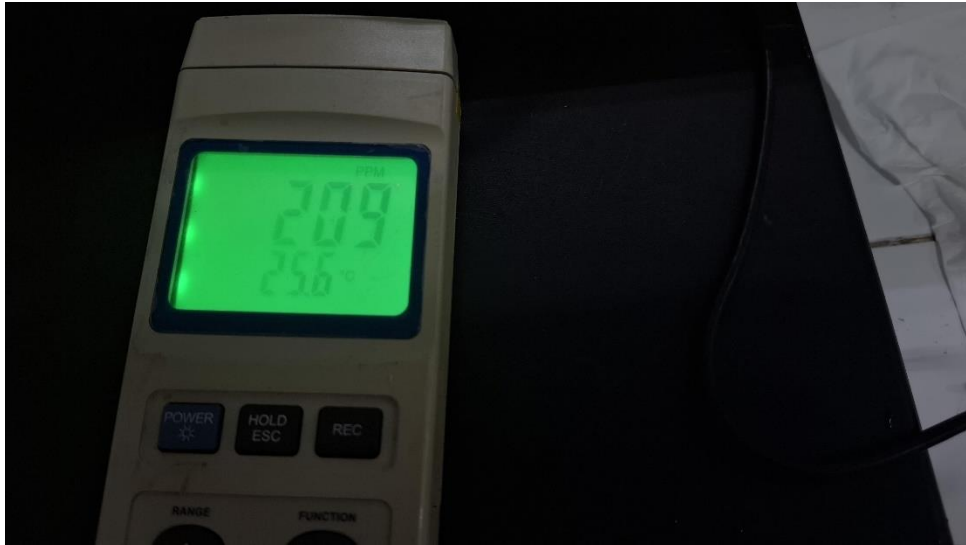
Lampiran 17 Hasil Pengukuran TDS T6



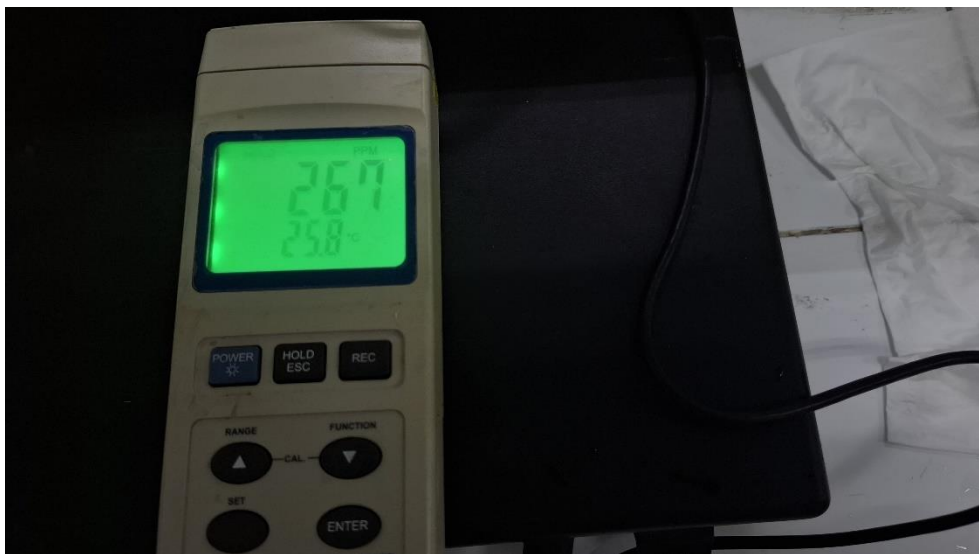
Lampiran 18 Hasil Pengukuran TDS T7



Lampiran 19 Hasil Pengukuran TDS T8



Lampiran 20 Hasil Pengukuran TDS T9



Lampiran 21 Hasil Pengukuran TDS T10

Titik	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	pH	TDS(mg/L)	DHL( $\mu$ S/cm)
T1	0,1108	0,0158	7	212	0,363
T2	0,1076	0,0158	6	168	0,25
T3	0,1233	0,0158	6	244	0,525
T4	0,0809	0,0158	6	292	0,433
T5	0,1202	0,0158	7	224	0,328
T6	0,0809	0,0158	6	297	0,405
T7	0,0809	0,0158	6	156	0,471
T8	0,0809	0,0158	6	256	0,503
T9	0,0809	0,0158	6	209	0,397
T10	0,0809	0,0158	6	267	0,424
T11	0,0809	0,0158	6	244	0,389

Lampiran 22 Titik Lokasi dan Hasil Pengukuran 5 Parameter

Fe	Mn	pH	TDS	DHL
MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
0,1233	0,0158	7	297	0,525
MIN	MIN	MIN	MIN	MIN
0,0809	0,0158	6	156	0,25
RATA-RATA	RATA-RATA	RATA-RATA	RATA-RATA	RATA-RATA
0,09347273	0,0158	6,1818182	233,545455	0,408
STANDAR DEVIASI	STANDAR DEVIASI	STANDAR DEVIASI	STANDAR DEVIASI	STANDAR DEVIASI
0,0170836	3,4694E-18	0,3856946	43,4351421	0,07473833

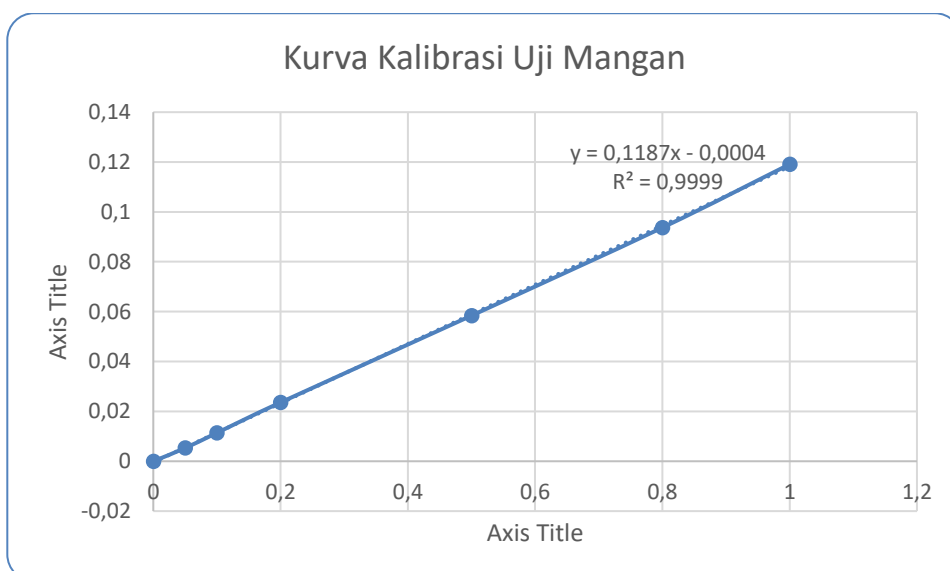
Lampiran 23 Rata-rata dan Standar Deviasi 5 Parameter

Nomor	Hubungan	Correl(R)	R2
1	Fe dan Mn	-1,40314E-15	1,969E-30
2	Fe dan pH	0,065598432	0,0043032
3	Fe dan TDS	-0,284984962	0,0812164
4	Fe dan DHL	-0,266810603	0,0711879
5	Mn dan pH	-4,18691E-16	1,753E-31
6	Mn dan TDS	-2,97431E-16	8,847E-32
7	Mn dan DHL	1,82309E-15	3,324E-30
8	pH dan TDS	-0,250113869	0,0625569
9	pH dan DHL	-0,176607188	0,0311901
10	TDS dan DHL	0,348315838	0,1213239

Lampiran 24 Nilai Correl (R) dan Determinasi ( $R^2$ )



Lampiran 25 Kurva Kalibrasi Uji Besi



Lampiran 26 Kurva Kalibrasi Uji Mangan

Kode	Sampel	Absorbansi
STD - 1	0	0
STD - 2	0,05	0,0008
STD - 3	0,1	0,0017
STD - 4	0,2	0,0042
STD - 5	0,5	0,014
STD - 6	0,8	0,025
STD - 7	1	0,031
SLOPE		0,0320
INTERSEP		-0,0011
STEYX	0,0009	
LOD	0,0809	
LOQ	0,2698	

Lampiran 26 LOD dan LOQ Besi (Fe)

Kode	Sampel	Absorbansi
STD - 1	0	0
STD - 2	0,05	0,0053
STD - 3	0,1	0,0114
STD - 4	0,2	0,0236
STD - 5	0,5	0,0584
STD - 6	0,8	0,0937
STD - 7	1	0,1191
SLOPE		0,1187
INTERSEP		-0,0004
STEYX	0,0006	
LOD	0,0158	
LOQ	0,0528	

Lampiran 27 LOD dan LOQ Mangan (Mn)

## RIWAYAT HIDUP



Penulis, Muhammad Rayhan Hafidz, lahir di Ketapang, Kalimantan Barat, pada tanggal 12 Juli 2003. Penulis merupakan putra pertama dari dua bersaudara, anak dari pasangan Bapak Fauzi, S.E. dan Ibu Deni Novita, S.H.. Pendidikan formal dimulai di SD Negeri 07 Delta Pawan Ketapang, kemudian SMP Negeri 1 Ketapang, dan diselesaikan di SMA Negeri 3 Ketapang. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan Nomor Induk Mahasiswa 21513024. Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan akademik dan pengembangan diri yang menunjang bidang studi Teknik Lingkungan. Penulis terlibat dalam proyek-proyek mata kuliah berbasis lingkungan, seperti perencanaan IPAL domestik, analisis kualitas air tanah, dan studi kelayakan proyek lingkungan. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti diskusi ilmiah serta pelatihan terkait pemetaan spasial dan analisis data lingkungan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar **Sarjana Teknik (S.T.)**. Penulis berharap ilmu dan pengalaman yang diperoleh selama studi dapat bermanfaat dalam mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan serta kontribusi nyata terhadap pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia.