TA/TL/2025/2031

JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Kajian Statistik dan Spasial Kualitas Air Tanah Berdasarkan Parameter Mikrobiologi di Kota Yogyakarta

Fida Tsamara Haniyah
21513097

Dosen Pembimbing:
Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025

DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Statistical And Spatial Assessment of Groundwater Quality Based on Microbiological Parameters in Yogyakarta City

Fida Tsamara Haniyah
21513097

Supervisor:
Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T.

Environmental Engineering Bachelor Program
Faculty of Civil Engineering and Planning
Universitas Islam Indonesia
2025

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

Kajian Statistik dan Spasial Kualitas Air Tanah Berdasarkan Parameter Mikrobiologi Di Kota 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.

Fida Tsamara Haniyah
21513097

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 16 September 2025 dan disetujui oleh:

19/9 2025
Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

19-9-25
Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

19/9-25
Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D. (Penguji 1)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

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, 28 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Fida Tsamara Haniyah

21513097

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul *"Kajian Statistik dan Spasial Kualitas Air Tanah Berdasarkan Parameter Mikrobiologi di Kota Yogyakarta"* sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menghadapi berbagai tantangan, baik teknis maupun non-teknis. Namun, berkat dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak, tugas akhir ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D., dan Ibu Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan arahan, masukan, dan dukungan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.Selaku dosen penguji yang telah banyak memberi saran dan masukan, serta bimbingan dalam tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua Bapak Kustadi dan Ibu Tinarsih, Kakak Nida dan Keponakan Nafisa dan Ravindra serta mochi si kucing yang senantiasa memberikan semangat, doa, motivasi, serta kasih sayangnya kepada penulis dalam menyelesaikan studi.
3. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia atas ilmu dan bantuannya selama masa perkuliahan.
4. Pihak BPS dan DLH di wilayah Kota Yogyakarta dan seluruh pihak terkait yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah menyediakan data untuk keperluan studi ini.

5. Teman-teman Teknik Lingkungan UII Angkatan 2021, Rifcha, Sahrul, Isti, teman-teman KKN, serta teman-teman yang memberikan semangat motivasi serta pelajaran hidup bagi penulis, dan teman-teman lain yang tidak disebutkan satu per satu atas dukungan yang senantiasa diberikan untuk segera dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Semoga Allah senantiasa menjaga dan memberikan keberkahan kepada mereka yang masih hidup, serta memberikan Rahmat serta ampunan bagi mereka yang telah mendahului kita semua.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang Teknik Lingkungan.

Yogyakarta, 23 Juli 2025

Fida Tsamara Haniyah

Kajian Statistik dan Spasial Kualitas Air Tanah Berdasarkan Parameter Mikrobiologi Di Kota Yogyakarta

Mahasiswa : Fida Tsamara Haniyah
NIM : 21513097
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : 1. Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.
2. Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T

Abstrak

Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi di Kota Yogyakarta membuat kebutuhan air tanah sebagai sumber utama pemenuhan kebutuhan air, yang bersamaan menimbulkan kontaminasi mikrobiologis, terutama *Total Coliform* dan *Escherichia coli*. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi kualitas air tanah berdasarkan parameter fisika, kimia dan mikrobiologi dengan pendekatan spasial dan statistik. Data sekunder air tanah tahun 2022-2024 digunakan untuk mengevaluasi parameter fisika, kimia, dan mikrobiologi. Analisis deskriptif, ANOVA dua arah, serta korelasi Pearson dilakukan untuk mengetahui hubungan antara parameter fisika dan kimia dengan konsentrasi *Total Coliform* dan *Escherichia coli*. Hasil menunjukan bahwa terdapat korelasi antara nitrat, mangan, TDS terhadap *Total Coliform* dan *Escherichia coli*. Pemetaan spasial menggunakan metode persebaran proporsional menunjukkan pola distribusi kontaminasi menyebar pada seluruh Kota Yogyakarta. Penelitian ini menyimpulkan bahwa faktor lingkungan seperti penggunaan lahan, topografi, dan sanitasi bersih mempengaruhi konsentrasi dari parameter mikrobiologi. Penelitian ini mendukung penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa wilayah selatan dan tengah Kota Yogyakarta memiliki kerentanan air tanah yang tinggi dan sangat tinggi. Kecamatan yang memiliki konsentrasi tinggi di antaranya Kecamatan Mantrijeron, Kecamatan Mergangsan, Kecamatan Umbulharjo, Kecamatan Pakualaman, dan Kecamatan Kraton. Konsentrasi parameter mikrobiologi tertinggi berada pada wilayah penggunaan lahan pariwisata dan jasa serta perdagangan dan jasa sekunder.

Kata kunci: Air tanah, *Escherichia coli*, pemetaan spasial, kualitas air

Statistical And Spatial Assessment of Groundwater Quality Based on Microbiological Parameters in Yogyakarta City

Student : Fida Tsamara Haniyah
Student Number : 21513097
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : 1. Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.
2. Diah Ayu Prawitasari, S.T., M.T

Abstract

Population growth and urbanization in Yogyakarta City have increased the reliance on groundwater as the primary source of water supply. However, this has simultaneously led to microbiological contamination, particularly by Total Coliform and Escherichia coli. This study aims to evaluate groundwater quality based on physical, chemical, and microbiological parameters using both spatial and statistical approaches. Secondary groundwater data from 2022 to 2024 were utilized to assess these parameters. Descriptive analysis, two-way ANOVA, and Pearson correlation analyses were conducted to determine the relationship between physical and chemical parameters with Total Coliform and E. coli concentrations. The results show a correlation between nitrate, manganese, and total dissolved solids (TDS) with the concentrations of Total Coliform and E.coli. Spatial mapping using a proportional distribution method reveals a widespread contamination pattern across Yogyakarta City. The study concludes that environmental factors such as land use, topography, and sanitation significantly influence microbiological parameters. This research supports previous findings that indicate high and very high groundwater vulnerability in the southern and central regions of Yogyakarta City. Districts with high concentrations include Mantrijeron, Mergangsan, Umbulharjo, Pakualaman, and Kraton. The highest levels of microbiological contamination were found in tourism and services as well as trade and secondary services land use areas.

Key words: groundwater, Escherichia coli, spatial mapping, water quality

DAFTAR ISI

PRAKATA i

Abstrak iii

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL vii

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR LAMPIRAN x

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Ruang Lingkup 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Air Tanah 5

2.2 Baku Mutu Kualitas Air Tanah Terhadap Parameter Mikrobiologi 11

2.3 Dampak Kesehatan Bagi Manusia 13

2.4 Analisis Statistik Parameter Mikrobiologi 14

2.5 Analisis Spasial Kualitas Air Tanah 14

2.6 Faktor Lingkungan Terhadap Distribusi Kontaminan Mikrobiologis 16

2.7 Penelitian Sebelumnya 18

BAB III METODE PENELITIAN 21

3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian 21

3.2 Alat Yang Digunakan 23

3.3 Diagram Alir Penelitian 24

3.4 Data Yang Digunakan 25

3.5 Analisis Data Statistik Deskriptif 26
3.6 Analisis Data Spasial 31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 33
4.1 Analisis Statistik Parameter Kualitas Air 33
4.2 Analisis Statistik Parameter Mikrobiologi 48
4.3 Persebaran *Total Coliform* dan *Escherichia coli* Secara Spasial 50
4.3.1 Analisis Faktor Lingkungan Terhadap Kualitas Air Tanah 51
4.3.2 Persebaran Pathogen Mikrobiologi Di Kota Yogyakarta 54
4.3.3 Hubungan Penggunaan Lahan Dengan Parameter Mikrobiologi 58
4.4. Evaluasi Kualitas Air Tanah 62
4.4.1. Rekomendasi Teknis Mitigasi Pencemaran Pathogen Mikrobiologi 73
BAB V PENUTUP 76
5.1 Kesimpulan 76
5.2 Saran 76
DAFTAR PUSTAKA 78
LAMPIRAN 83
Lampiran 83
Lampiran 84
Lampiran 85
Lampiran 86
RIWAYAT HIDUP 1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Parameter Wajib Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan 12
Tabel 2.2. Penelitian Sebelumnya 18
Tabel 3.1. Jenis Data Yang Digunakan Untuk Penelitian 25
Tabel 4.1. Analisis Anova Dua Arah 49
Gambar 4.17. Peta Persebaran Konsentrasi Total Coliform Kota Yogyakarta Berdasarkan Kawasan Kumuh Tiap Tahun Pengamatan 61
(Sumber : Data Primer DLH, 2022-2024, diolah menggunakan QGIS) 61
Tabel 4.2. Rasio Pencemaran *Total Coliform* Tahun 2022 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi. 62
Tabel 4.3. Rasio Pencemaran *Escherichia coli* Tahun 2022 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi. 63
Tabel 4.4. Rasio Pencemaran *Total Coliform* Tahun 2023 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi. 64
Tabel 4.5. Rasio Pencemaran *Escherichia coli* Tahun 2023 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi. 65
Tabel 4.6. Rasio Pencemaran *Total Coliform* Tahun 2024 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi. 66
Tabel 4.7. Rasio Pencemaran *Escherichia coli* Tahun 2024 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi. 66

Tabel 4.8. Analisis Korelasi Parameter Mikrobiologi Dengan Parameter Fisika dan Kimia 70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Peta Lokasi Penelitian Kota Yogyakarta Berdasarkan Kecamatan 21
Gambar. 3.1. Diagram Alir Penelitian 24
Gambar 3.2. Diagram Alir Analisis Statistik 30
Gambar 3.3. Diagram Alir Analisis Secara Spasial 32
Gambar 4.1. *Boxplot* Konsentrasi Suhu Setiap Tahun Pengamatan 34
Gambar 4.2. *Boxplot* Konsentrasi pH Setiap Tahun Pengamatan 35
Gambar 4.3. *Boxplot* Konsentrasi Kekeruhan Setiap Tahun Pengamatan 37
Gambar 4.4. *Boxplot* Konsentrasi TDS Setiap Tahun Pengamatan 38
Gambar 4.5. *Boxplot* Konsentrasi Nitrit Setiap Tahun Pengamatan 39
Gambar 4.6. *Boxplot* Konsentrasi Nitrat Setiap Tahun Pengamatan 41
Gambar 4.7. *Boxplot* Konsentrasi Mangan Setiap Tahun Pengamatan 43
Gambar 4.8. *Boxplot* Konsentrasi Besi Setiap Tahun Pengamatan 44
Gambar 4.9. *Boxplot* Konsentrasi *Total Coliform* Setiap Tahun Pengamatan 45
Gambar 4.10. *Boxplot* Konsentrasi *Escherichia Coli* Setiap Tahun Pengamatan 47
Gambar 4.11. Peta Jenis Tanah Kota Yogyakarta 52
Gambar 4.16. Peta Persebaran Konsentrasi *Escherichia coli* Berdasarkan Penggunaan Lahan Kota Yogyakarta Tiap Tahun Pengamatan 60
Gambar 4.18. Peta Kerentanan Air Tanah Kota Yogyakarta Dengan Konsentrasi Parameter Mikrobiologi Tahun 2024 68
(Sumber : Nurroh S, et al. (2020). Assessment of Groundwater Pollution Risk Potential Using DRASTIC Model In Yogyakarta City) 68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 . Tabel Statistik deskriptif tahun 2022..... 83
Lampiran 2 . Tabel Statistik deskriptif tahun 2023..... 84
Lampiran 3. Tabel Statistik deskriptif tahun 2024..... 85
Lampiran 4. Tabel Distribusi normal *Total coliform* 3 tahun pengamatan 86

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Yogyakarta merupakan daerah urban yang padat penduduk baik penduduk tetap maupun nomaden. Urbanisasi merupakan fenomena global yang dirasakan oleh negara-negara berkembang dan dapat menyebabkan perluasaan perkotaan. Urbanisasi mengakibatkan berkurangnya lahan hijau dan memburuknya kualitas lingkungan (Rozano et al, 2017) Pertumbuhan penduduk menyebabkan kebutuhan air tanah untuk sehari hari pun meningkat. Pada tahun 2020 jumlah total penduduk yang bermigrasi seumur hidup 3.761.870 jiwa (Badan Pusat Statistik , 2020) dan jumlah total penduduk di Yogyakarta pada tahun 2023 sebanyak 4.073.907 (Badan Pusat Statistik , 2020). Penggunaan lahan untuk membangun tempat tinggal, industry, dan agrikultur membuat tingkat kualitas air tanah menurun. Hal tersebut membuat air tanah tidak dapat berfungsi sebagai kebutuhan primer bagi kehidupan masyarakat. (Suresha et al, 2015). Keberlanjutan air tanah untuk kebutuhan masa depan perlu dipertahankan dan dipantau secara teratur kualitas dan kuantitas sumber air tanah nya.

Mayoritas masyarakat Kota Yogyakarta menggunakan air tanah sebagai pemenuhan kebutuhan primer yang menggunakan (DLH, 2019). Kualitas air tanah dapat menurun dan tidak berfungsi dengan baik sebagai kebutuhan primer bagi kehidupan Masyarakat (Suresha, 2015). Pertumbuhan penduduk dapat menjadi salah satu sebab sanitasi yang kurang baik, hal tersebut merupakan sumber pencemar yang masuk ke dalam air tanah. Kandungan *E.coli* sudah mencemari air sumur di Kota Yogyakarta yang sudah terjadi cukup lama (Sintasari, 2022). Sanitasi yang kurang baik beriringan dengan resiko kontaminasi dari pathogen ke manusia melalui difusi penyakit yang ditularkan melalui air. Air tanah dapat mengandung agen pathogen, senyawa organik,logam, dan senyawa mineral lainnya. Kontaminan dapat bersumber dari permukaan tanah lalu menyerap hingga aquifer. Air tanah sangat penting tetapi sering disalah gunakan karena kurangnya pemahaman dan manajemen yang baik.

Berdasarkan Dinas Kesehatan Kota Yogyakarta pada tahun 2022 sebanyak 7.425 kasus. Pada tahun 2022, kasus diare meningkat menjadi 8.073 di tahun 2022 kasus, pada tahun 2024 kasus diare meningkat menjadi 9.148 kasus (Dinas Kesehatan, 2024). *Coliform* dan *Escherichia coli* merupakan parameter biologis yang dapat berpotensi menyebabkan diare pada manusia. Dalam segitiga epidemiologi terhadap kasus diare yang bertambah berdasarkan tiga faktor utama yang saling berinteraksi yaitu *host, Agent,* dan *Environment*. Air tanah dapat menjadi media penularan diare ketika sudah tercemar oleh coliform dan *Escherichia coli* yang menjadi *Agent* pembawa penyakit diare (Warda, 2024). *E.coli* dapat menjadi indikator utama fekal pembawa penyakit secara langsung, ketika terkonsumsi oleh manusia.

Kualitas air tanah dapat menjadi acuan apakah layak air tanah menjadi sumber primer bagi masyarakat. Banyaknya kasus diare menjadi perhatian khusus bagi masyarakat Yogyakarta. Penggunaan teknologi GIS untuk pemetaan distribusi kontaminan telah berkembang pesat beberapa tahun terakhir. Peta distribusi kontaminan mikrobiologi air tanah dapat membantu mengelola sumber daya air dalam konservasi air tanah menuju daerah yang lebih aman. Kualitas air tanah dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor dan kondisi lingkungan. Air limbah yang meresap ke dalam tanah dan mencapai aquifer dapat mencemari air tanah dan memiliki dampak besar terhadap kualitas air tanah. (Savitri, 2017). Pendekatan spasial dengan peta distribusi kontaminan mikrobiologi air tanah dapat mengevaluasi penggunaan lahan apa yang sudah tercemar dan menjadi sumber *E.coli* serta dapat memitigasi terhadap wilayah yang belum tercemar. Peta distribusi kontaminan mikrobiologi air tanah dapat mengevaluasi suatu wilayah untuk menurunkan penyakit diare yang disebabkan oleh *E.coli.* Oleh karena itu, agar rantai penularan penyakit diare dapat terputus, diperlukan penyediaan air bersih yang memenuhi standar kesehatan, termasuk lokasi sumber air bersih yang tepat (Syah et al, 2017)

Penelitian terdahulu menunjukan bahwa penurunan kualitas air tanah dapat dipengaruhi oleh faktor kepadatan penduduk, penggunaan lahan, hidrogeologi dan sanitasi lingkungan (Tarmoyo et al, 2012). Pada penelitian (Lathifa et al, 2023) digunakan analisis spasial menggunakan metode *Inverse Distance Weighting*

(IDW) untuk memetakan persebaran *Escherchia coli* dan *total Coliform* yang ditemukan kadar paling tinggi pada wilayah yang berdekatan dengan sumber pencemar seperti *septic tank* atau peternakan. Pada tingkat internasional di pakistan dengan penelitian serupa menemukan 38% sampel air tanah mengandung *E.coli* dan terdistribusi dari arah tenggara ke barat laut (Adnan, 2014). Namun, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam memahami hubungan parameter fisik dan kimia dengan kontaminasi mikrobiologi di air tanah secara spesifik sehingga dapat menjadi penyebab potensial yang dapat memperkuat atau memperlemah kontaminasi mikrobiologi. Terutama dalam konteks perkotaan dengan tingkat urbanisasi tinggi dan kasus diare yang meningkat seperti Kota Yogyakarta. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengembangkan peta distribusi kontaminan mikrobiologi air tanah berdasarkan analisis statistik dan spasial untuk memberikan korelasi dan signifikansi terhadap pola kontaminasi *E.coli* serta faktor lingkungan yang berpotensial mempengaruhinya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1) Bagaimana korelasi dan signifikansi hubungan parameter *E.coli* dengan parameter fisika dan kimia?
2) Bagaimana pola sebaran konsentrasi parameter mikrobiologi?
3) Bagaimana pengaruh penggunaan lahan terhadap tingkat kualitas air tanah parameter mikrobiologi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1) Menentukan korelasi dan signifikansi hubungan parameter *E.coli* dengan parameter fisik dan kimia.
2) Menentukan pola sebaran konsentrasi parameter mikrobiologi
3) Mengevaluasi pengaruh penggunaan lahan terhadap tingkat kualitas air tanah parameter mikrobiologi.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yaitu sebagai berikut :

1) Dapat digunakan menjadi sarana masyarakat untuk informasi mengenai kualitas air tanah di Kota Yogyakarta.
2) Dapat dijadikan kajian pustaka untuk merumuskan kebijakan dan program kesehatan masyarakat terhadap kualitas air tanah parameter mikrobiologi di Yogyakarta.
3) Dapat dijadikan pemetaan distribusi sanitasi tidak baik.
4) Dapat dijadikan peta untuk memitigasi persebaran mikroorganisme *E.coli.*
5) Dapat dijadikan sebagai pertimbangan masukan atau saran untuk membangun PDAM maupun IPAL.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi :

1) Penelitian ini dilakukan di wilayah Kota Yogyakarta dengan menggunakan data sekunder pengambilan sampel air tanah lalu dilakukan analisis menggunakan software *Microsoft Excel* dan analisis pola distribusi spasial dengan software GIS.
2) Data sekunder yang digunakan adalah 3 tahun terakhir dimulai dari tahun 2022 dengan rentang bulan februari sampai oktober.
3) Perbedaan musim tidak menjadi pertimbangan dalam pembacaan suhu saat sampling.
4) Studi literatur terkait masalah sanitasi di Kota Yogyakarta.
5) Studi literatur parameter pendukung *E.coli* seperti pH, suhu, kekeruhan, *Total Dissolve Solid*, nitrit, nitrat, mangan, dan besi.

.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Tanah

Air tanah kerap dijadikan sumber air baku bagi Masyarakat Yogyakarta. Kualitas air tanah merupakan tingkatan kondisi air tanah apakah tercemar atau tidak tercemar pada suatu sumber air. Kualitas air tanah yang baik harus memenuhi syarat secara fisik, kimia, serta mikrobiologisnya. Air tanah dapat dikategorikan sebagai air bersih harus memenuhi baku mutu air kelas 1 Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran. (Aisyah et al, 2017)

Kualitas air tanah di berbagai wilayah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu karena adanya pengaruh dari material alam seperti tanah dan batuan. Air mengalir yang melewati tanah dan batuan dapat membawa parameter yang berada di tanah maupun batuan. Hal ini terjadi karena air mempunyai sifat redoks yang dapat membawa parameter kimia dari alam. Namun *E.coli* terbawa air tanah karena kontaminasi dari sumber eksternal. Oleh karena itu, sangat penting untuk menguji kualitas air tanah untuk melihat kerentanan air tanah yang tercemar. (Rahayu et al, 2018).

Kualitas air tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan yang berhubungan dengan aktivitas setiap hari yang dilakukan oleh manusia yang dapat meningkatnya timbulan buangan limbah. Air tanah dapat menjadi rentan Ketika faktor-faktor alam memberikan sedikit perisai dari aktivasi kontaminasi air tanah. Air tanah yang tidak rentan jika faktor alam memberikan perlindungan yang relatif baik (Tarmoyo et al, 2012).

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Air yang layak digunakan untuk keperluan air minum harus dan aman bagi kesehatan dengan memenuhi 3 persyaratan yaitu:

a. Syarat Fisik

Syarat fisika terpenuhi jika kualitas air baku tidak berbau, tidak berasa, tidak keruh, serta tidak berwarna. Adapun sifat sifat air secara fisik dapat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor sebagai berikut :

1. Suhu

Temperatur air mempengaruhi penerimaan masyarakat terhadap air tersebut dan juga mempengaruhi reaksi kimia dalam pengolahannya, terutama jika temperaturnya sangat tinggi. Temperatur yang diinginkan adalah sekitar ±3ºC dari suhu udara sekitarnya, yang dapat memberikan rasa segar. Namun, iklim setempat dan jenis sumber air dapat mempengaruhi temperatur air. Selain itu, temperatur air juga secara langsung mempengaruhi toksisitas. Syarat fisika juga mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme yaitu suhu. Suhu yang optimum untuk pertumbuhan *E.coli* adalah 37 derajat selsius dengan waktu generasi tersingkat yaitu selam 30 menit. (Rahayu et al, 2018)

2. Kekeruhan

Tingkat kekeruhan sebesar 1,55 NTU lebih tinggi dari batas maksimum yang diizinkan, yaitu 25 NTU (Nephelometric Turbidity Unit, satuan standar untuk mengukur kekeruhan atau tingkat kekeruhan air). Kekeruhan yang tinggi dapat mempersulit filtrasi dan desinfeksi pada pengolahan air, sebab mikroorganisme pathogen dapat terlindungi oleh partikel yang bersifat organik maupun anorganik. (Aneta et al, 2021)

3. Rasa dan Bau

Bau dan rasa pada air biasanya muncul bersamaan dan umumnya disebabkan oleh bahan organik yang membusuk, jenis tertentu organisme mikroskopis, serta senyawa kimia seperti fenol. Bahan-bahan yang menyebabkan bau dan rasa ini dapat berasal dari berbagai sumber. Intensitas bau dan rasa bisa meningkat dengan adanya klorinasi. Karena pengukuran bau dan rasa tergantung pada reaksi individu, hasilnya tidak mutlak. Untuk standar air minum dan air bersih, air diharapkan tidak berbau dan tidak berasa.

4. Total Dissolve Solid

Jumlah zat padat terlarut lebih rendah dari batas maksimum yang diperbolehkan, yaitu 1000 mg/l. Penyebab TDS berlebih adalah kandungan gabungan terlarut dari semua zat organik dan anorganik yang ada dalam air berbentuk molekuler, terionisasi atau microgranular (sel koloid). Sumber TDS utama adalah air yang melewati tanah liat serta muncul dari pelapukan batuan dan tanah.

5. Warna

Warna dalam air terbagi menjadi dua jenis: warna semu (apparent color) yang disebabkan oleh partikel-partikel yang menyebabkan kekeruhan seperti tanah, pasir, partikel halus besi, mangan, mikroorganisme, dan pewarna industri; serta warna sejati (true color) yang berasal dari penguraian bahan organik alami seperti humus, lignin, tanin, dan asam organik lainnya.

b. Syarat Kimia

Pengujian kualitas air minum berdasarkan parameter kimia dilakukan untuk membatasi kandungan kimia pada air baku supaya tidak memberikan efek negative terhadap manusia. Air tanah dapat memiliki kandungan kimia dari proses melewati pelapukan batuan. Namun jika keberadaan senyawa kimia lebih dari ambang batas, dapat merugikan manusia. Berdasarkan pengujian parameter kimia yakni Derajat keasaman (pH), Aluminium (Al), Amoniak (NH3), Arsen (As), Besi (Fe), Fluoride (F), Kesadahan (CaCo3), Khlorida (Cl), Mangan (Mn), Nitrat (NO_3), Nitrit (NO_2), Seng (Zn), Sianida (CN), Sulfat (SO4), Tembaga (Cu), Zat organik (KMnO4), dan Kromium (Cr).

1. pH (Derajat Keasaman)

pH dapat dipengaruhi oleh struktur tanah di wilayah sumur berada. Menurut ,(Slamet, 2007)air yang baik tidak asam serta tidak basa atau dikatakan netral untuk mencegah terjadinya pelarutan logam berat dan korosi jaringan distribusi air. pH yang dianjurkan untuk air bersih menurut peraturan menteri kesehatan nomor 492/Menkes/per/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum.yaitu maksimum 6,5-8,5.

Bakteri *Enterobacteriaceae* tidak dapat bertumbuh di lingkungan pH air yang rendah (asam) seperti pada air hujan, air gambut dan air yang terkena limbah industri. Kondisi pH dapat memengaruhi toksisitas senyawa kimia, proses biokimia dalam air, dan proses metabolism pada organisme akuatik. (C.B. Tiwary, 2013)

2. Nitrit (NO_2)

Nitrit merupakan hasil dari perubahan nitrat dalam proses nitrifikasi. Proses ini banyak ditemukan dalam siklus nitrogen. Bakteri nitrifikasi merupakan peran utama dalam proses nitrifikasi secara aerobik. Nitrifikasi merubah ammonia menjadi nitrat dengan perantara hidroksilamin dengan menggunakan enzim ammonia mono *oxygenase* dan *hydroxalamine oxidoreductase*. (Zaman et al, 2023)

3. Nitrat (NO_3)

Nitrat juga dapat memengaruhi keasaman pada air. Meskipun nitrat sendiri tidak bersifat asam, dalam kondisi tertentu, bakteri dalam air dapat mengubah nitrat menjadi senyawa yang lebih asam, seperti asam nitrat. Peningkatan kandungan nitrat dalam air dapat menyebabkan peningkatan keasaman.

4. Mangan (Mn)

Mangan (Mn) merupakan kandungan logam yang berwarna abu putih yang bersifat reaktif dan mudah menggabungkan ion dalam air dan udara. Di alam mangan ditemukan dalam senyawa mineral kimia yang berbeda dengan sifat fisiknya, tetapi tidak pernah ditemukan sebagai logam bebas di alam. (Awliahasanah et al, 2021)

Mangan didalam air dapat berbentuk mangan bikarbonat (Mn(HCO3)2, mangan klorida (MnCL2) dan mangan sulfat (Amina Misa, 2019). Mangan di dalam tanah berada dalam bentuk mangan dioksida (Mn4+). Mangan dioksida dapat mengalami reduksi menjadi Mn2+ yang bersifat larut pada perairan dengan kondisi aerob akibat dekomposisi bahan organik dengan konsentrasi tinggi.

Mn2+ berkaitan dengan nitrat, sulfat, dan klorida yang larut dalam air. (Muntu et al, 2021)

5. Besi (Fe)

Besi merupakan mineral logam yang terkandung dalam air. Adanya besi dalam air merupakan hal yang baik karena besi merupakan unsur yang dibutuhkan oleh metabolism tubuh serta pembentukan sel darah merah. Namun jika besi yang terkandung dalam air melebihi batas yang ditetapkan Dep.Kes. R.I. yaitu sebesar 0,1-1 mg/l dapat menyebabkan warna air menjadi kuning kemerahan karena terjadinya oksidasi ferri.

6. Floride (F)

Florida merupakan elemen elektronegatif yang terdapat pada mineral di tanah, air dan udara. Florida merupakan salah satu sumber gizi mikro bagi Kesehatan manusia. Florida masuk ke dalam tubuh melalui air yang mengandung florida. Namun terlalu banyak konsentrasi florida dalam jangka waktu yang lama dapat menimbulkan kerusakan rangka dan email gigi (Wulandari et al, 2019). Maka dari itu parameter florida mempunyai nilai baku mutu pada peraturan yang mengatur tentang kualitas air.

c. Syarat Biologi

1. Bakteri coliform

Coliform adalah bakteri gram negatif berbentuk batang yang bersifat anaerob atau fakultatif anaerob, tidak membentuk spora, dan mampu memfermentasi laktosa untuk menghasilkan asam dan gas pada suhu 35°C-37°C. Menurut permenkes RI No. 416 tahun 1990 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air bersih menyebutkan jika kandungan bakteri *total coliform* air bersih yaitu 50/100 ml untuk air tanah (air sumur). Dan 10/100 ml untuk air perpipaan.

Kategori coliform dapat dibedakan menjadi dua yaitu coliform fecal dan non fecal. Coliform fecal bersumber dari kotoran hewan dan manusia, seperti bakteri *E.coli*, bakteri non-

fecal ditemukan pada hewan dan tanaman yang sudah mati seperti *Enterobacter aerogenes*. Bakteri *E.coli* dapat dikategorikan pathogen dan berisiko meningkat seiring dengan tingkat pencemaran oleh mikroba coliform (Radjak, 2013)

Escherichia coli adalah bakteri yang hidup di saluran pencernaan manusia dan hewan, dikenal sebagai indikator sanitasi dan kebersihan. Keberadaannya dalam air menunjukkan rendahnya tingkat sanitasi. Bakteri ini bersifat gram negatif, fakultatif, berbentuk batang, dan mampu memfermentasi laktosa serta menghasilkan asam dan gas dalam waktu 48 jam pada suhu 35°C (Rahayu et al, 2018)

2. Bakteri *Escherichia coli*

Escherichia coli adalah bakteri yang biasanya ditemukan dalam mikroflora saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas. Bakteri ini termasuk jenis heterotrofik yang mengonsumsi bahan organik dari lingkungannya karena tidak dapat memproduksi bahan organik sendiri. Mereka memperoleh bahan organik dari sisa-sisa organisme lain dan menguraikannya menjadi zat anorganik seperti CO2, H2O, energi, dan mineral.

Escherichia coli juga merupakan bagian dari kelompok bakteri Coliform. Tingginya tingkat kontaminasi bakteri Coliform menunjukkan risiko yang lebih besar untuk adanya bakteri patogen lainnya yang biasanya ditemukan dalam kotoran manusia. *E.coli* dapat menghasilkan enzim enterotoksin yang menyebabkan beberapa kasus diare. Diare sering disebabkan oleh bakteri patogen, dan tingkat kejadian diare di Indonesia, terutama di perkotaan, memiliki kaitan erat dengan *Escherichia coli*. *E.coli* diklasifikasikan menjadi lima kelompok galur yang pathogen yaitu (Kusuma, 2010) :

1. E. coli Enteropatogenik (EPEC)
2. E. coli Enterotoksigenik (ETEC)
3. E. coli Enteroinvasif (EIEC)

4. E. coli Enterohemoragik (EHEK)
5. E. coli Enteroagregatif (EAEC)

Saat kondisi lingkungan tidak sesuai lalu terpapar oleh *E.coli* maka akan menghasilkan ekspresi gen khusus, mengalami mutase adaptif dan mengalami perubahan morfologi sel. Kurangnya pengetahuan dan kesadaran masyarakat tentang bahaya *Escherichia coli* dapat menyebabkan minimnya deteksi dan langkah pencegahan terhadap bakteri yang berbahaya bagi kesehatan manusia. (Boekoesoe, 2010)

2.2 Baku Mutu Kualitas Air Tanah Terhadap Parameter Mikrobiologi

Indonesia memiliki banyak peraturan mengenai baku mutu kualitas air. Peraturan yang mengatur kualitas air tanah sebagai sumber air baku terdapat pada Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran. Kualitas air tanah diatur juga di Permenkes No. 492 Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Peraturan yang menyebutkan tentang air minum atau air baku juga tertuang di Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 yang mengatur tentang Pelaksanaan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan.

Ketiga peraturan tersebut mengatur tentang air baku, namun berbeda subjek pengaturan dan peruntukan air nya. PP No. 82 Tahun 2001 mengatur tentang pengelolaan kualitas air di badan air dan Upaya untuk mencegah serta mengendalikan pencemaran air. Permenkes No. 492 Tahun 2010 menetapkan standar kualitas air minum yang harus dipenuhi untuk menjamin Kesehatan Masyarakat. Permenkes No. 492 Tahun 2010 membatasi kontaminan yang ada di dalam air, PP No. 82 Tahun 2001 mengklasifikasikan kelas air berdasarkan kelas penggunanya (kelas I sampai VI) dan menetapkan standar kualitas yang berbeda untuk setiap kelas sesuai dengan tujuan penggunaan nya. Seperti untuk air baku, irigasi, rekreasi dan lain lain. Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 menyebutkan bahwa terdapat Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan yang selanjutnya disingkat SBMKL yaitu spesifikasi teknis atau nilai yang sudah mutlak pada

media lingkungan yang berhubungan pada media langsung terhadap Kesehatan Masyarakat.

Untuk mengetahui kuaalitas air tanah yang dijadikan sumber air baku dapat menggunakan Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 untuk melindungi dan meningkatkan kualitas air dan mengendalikan pencemaran air. pada peraturan Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 disebutkan semua SBMKL baik dari tanah, udara, dan air. peraturan ini dibuat untuk Upaya pencegahan dan pengendalian vektor penyakit baik secara langsung atau tidak langsung. Media air yang diatur adalah parameter fisik, kimia dan mikrobiologi serta radioaktif, didalam peraturan ini dibagi menjadi 2 yaitu parameter wajib dan parameter khusus yang dijelaskan pada tabel 2.1. SBMKL ini digunakan untuk menjadi acuan bagi penyelenggara air minum, petugas sanitasi di Puskesmas, dinas Kesehatan kabupaten/kota, dan pemangku kepentingan terkait.

Tabel 2.1. Parameter Wajib Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan

No.	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
	Mikrobiologi			
1.	*Escherchia coli*	0	CFU/100 ml	SNI/APHA
2.	Total *Coliform*	0	CFU/100 ml	SNI/APHA
	Fisik			
3.	Suhu	Suhu udara +- 3	Derajat Celcius	SNI/APHA
4.	Total *Dissolve Solid*	<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 NO^3)	20	mg/L	SNI/APHA
10.	Nitrit (Sebagai NO^2)	3	mg/L	SNI/APHA
11.	Kromium valensi 6 (Cr^{6+})(terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
12.	Besi (Fe) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA

No.	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Satuan	Metode Pengujian
13.	Mangan (Mn) (terlarut)	0,1	mg/L	SNI/APHA
14.	Sisa khlor (terlarut)	0,2 – 0,5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/L	SNI/APHA
15.	Arsen (As) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
16.	Kadmium (Cd) (terlarut)	0,003	mg/L	SNI/APHA
17.	Timbal (Pb) (terlarut)	0,01	mg/L	SNI/APHA
18.	Fluoride (F) (terlarut)	1,5	mg/L	SNI/APHA
19.	Alumunium (Al) (terlarut)	0,2	mg/L	SNI/APHA

Sumber : Kemenkes No. 2 Tahun 2023

2.3 Dampak Kesehatan Bagi Manusia

Air merupakan kebutuhan primer untuk kehidupan manusia. Air dapat membawa pathogen yang bisa memberikan dampak terhadap manusia. *E.coli* merupakan organisme model paling popular dalam penelitian mikrobiologis, genetik, dan biologi molukuler. *E.coli* organisme paling intensif dipelajari dan paling dipahami di planet ini. Kehadiran *E.coli* yang bersumber dari feses dan kemampuannya untuk bertahan di berbagai lingkungan. *E.coli* dapat dijadikan indikator untuk kualitas air.

E.coli dan manusia mempunyai hubungan komensalisme jika *E.coli* berada di dalam usus manusia. Namun jika *E.coli* sudah berada di luar tubuh dapat menjadi penyebab utama penyakit pada manusia. Paparan *E.coli* dapat memberikan respon yang berbeda pada setiap manusia, jika dosis paparan bakteri yang dimiliki sangat rendah, terdapat resiko terjadinya infeksi walaupun tidak terjadi pertumbuhan bakteri di air yang terkontaminasi. Bakteri ini merupakan agen penyebab patologi usus seperti diare berair dan atau berdarah, sindrom uremik hemolitik, dan colitis. Bakteri ini juga dapat menyebabkan penyakit ekstraintestinal seperti bakteremia

dan sepsis, meningitis, dan infeksi saluran kemih. Bakteri ini membuat penyakit menular dalam cakupan komunitas.(Geurtsen et al., 2022)

2.4 Analisis Statistik Parameter Mikrobiologi

Analisis statistik dibutuhkan guna mengetahui derajat atau kekuatan hubungan, bentuk atau hubungan kausal dan hubungan timbal balik antara variabel penelitian. Analisis ini juga dapat mengetahui besarnya pengaruh suatu variabel bebas secara bersama melalui kofisien korelasi.

Analisis varians adalah teknik statistik yang dapat digunakan untuk membandingkan nilai tiga kelompok atau lebih. Misalnya, pada penelitian (Hua, 2017) anova digunakan untuk menganalisis perbedaan antara kelas penggunaan lahan dalam perubahan penggunaan lahan dengan kualitas air berdasarkan faktor loading dari analisis PCA. Tujuan utama penggunaan anova adalah untuk menentukan dan membuktikan penggunaan lahan apa yang berperan sebagai sumber polutan dan mempengaruhi kualitas air yang dapat menyebabkan pencemaran di sungai Malaka.

Pada penelitian (Ngatia et.al, 2023), uji anova digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan signifikan berbagai parameter seperti BOD, *E.coli*, pH, TDS, *total coliform* di antara lokasi penelitian yang berbeda dan pada periode musim yang berbeda.

2.5 Analisis Spasial Kualitas Air Tanah

Penurunan kualitas air tanah kian meningkat ditunjukan dengan persebaran *E.coli*. Persebaran *E.coli* terjadi dalam sepanjang aliran di akuifer. Analisis pencemaran air tanah berguna untuk mendapatkan kondisi air tanah di Lokasi pengukuran semakin tinggi nilai pencemar air tanah maka akan menunjukan penurunan kualitas air tanah.

Analisis spasial adalah tahapan untuk menentukan pola sebaran kualitas air tanah di suatu lokasi. Hasil analisis spasial akan menunjukan pendekatan dan akan digunakan sebagai proses pemetaan kualitas air tanah berdasarkan baku mutu air.(Prasetya et al., 2021). Indeks kualitas air dengan mekanisme matematis untuk

menghitung data kualitas air menjadi istilah yang sederhana seperti kondisi baik, tercemar ringan, tercemar sedang dan tercemar berat.

Analisis pengolahan data dapat menggunakan alternatif dalam bentuk digital dengan proses penyajian data dengan cara memanfaatkan GIS *(Geographic Informatic System)* sebagai fasilitas evaluasi dan memonitoring kualitas air tanah. Untuk keperluan bidang Teknik lingkungan sistem GIS berfungsi untuk mempermudah dan mempercepat analisis spasial untuk acuan dasar pertimbangan penyelesaian teknis serta analisis pokok permasalahan lingkungan.

Pada tahun 2023 telah dilakukan penelitian uji *E.coli* dan *total coliform* dengan menggunakan analisis *Inverse Distance Weighting* (IDW) hasil analisis menunjukan bahwa konsentrasi *E.coli* dan *total coliform* tertinggi berada pada lahan pemukiman dan bisnis makanan, titik pantau yang konsentrasinya tinggi berada pada wilayah tenggara pada peta dengan konsentrasi 170 MPN/100 ml. Arah persebaran *E.coli* dari timur menuju ke tenggara. (Lathifa et al, 2023).

Pada penelitian sebelumnya dilakukan pemetan *E.coli* pada sumur gali. Ditemukan bahwa letak lokasi sampling masih berdekatan dengan kandang ternak yang berjarak kurang dari 15 meter pada lokasi sumur sampling. Sumur sampling memiliki kedalaman kedap air kurang dari 3 meter. Sumur sampling juga berdekatan dengan *saptictank* dengan jarak kurang dari 10 meter dengan persentase 63%. Letak lokasi sampling dapat mempengaruhi pola persebaran *E.coli.*

Di Pakistan tepatnya di distrik Peshawar telah dilakukan penelitian dan ditemukan bahwa 62% sampel terkontaminasi secara mikrobiologis dan 38% sampel ditemukan terkontaminasi *E.coli*. Setelah dilakukan analisis spasial dapat menilai pola distribusi, tren, proses, dan hubungan antar parameter yang dapat mengukur apakah distribusi menunjukan tren arah. Semua parameter yang memiliki korelasi positif terdistribusi ke arah yang sama yaitu dari tenggara ke barat laut, namun yang tidak memiliki korelasi terdapat sedikit perbedaan arah distribusi. (Adnan et al, 2014)

2.6 Faktor Lingkungan Terhadap Distribusi Kontaminan Mikrobiologis

Air tanah yang sudah tercemar dapat mempengaruhi dan mendistribusikan pencemar ke badan air yang berada di sekitarnya yang dapat menyebabkan kualitas air tanah menurun. Kualitas air tanah yang menurun karena masuknya pencemar ke badan air dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang memfasilitasi pergerakan dan keberlangsungan mikroorganisme patogen. Kondisi aquifer yang berbeda dapat menjadi suatu pengaruh mengapa konsentrasi dari pencemar air tanah dapat berbeda beda. Mobilitas kontaminan tergantung pada tingkat kelarutan sebagai pengaruh oleh kondisi mineralogi, geokimia sumur maupun akuifer (Tarmoyo et al, 2012). ada beberapa faktor yang mempengaruhi kerentanan air tanah :

a. Kedalaman muka air tanah

   Kedalaman muka air tanah salah satu faktor krusial. Sebelum mencapai akuifer polutan harus melewati lapisan tanah diatasnya. Jika muka air tanah tidak terletak lebih dalam, resiko pencemaran akan tinggi sebab durasi yang dibutuhkan kontaminan akan lebih sedikit. Semakin dalam muka air tanah, maka semakin rendah pula peluang kontaminasi terjadi karena waktu kontak polutan dengan lapisan pelindung menjadi lebih panjang.

b. Jumlah recharge (Pengisian ulang)

   Recharge mengacu pada jumlah air yang meresap ke dalam tanah dan akhirnya mencapai muka air tanah. Proses recharge memiliki peran penting dalam memindahkan kontaminan secara vertikal maupun horizontal di dalam akuifer. volume air yang meresap ini mengatur jumlah polutan yang dapat diangkut dalam area jenuh maupun tak jenuh air. Secara umum, semakin besar jumlah recharge semakin tinggi pula resiko pencemaran air tanah karena lebih banyak air yang membawa kontaminan. Sebaliknya, jika recharge air tanah rendah, resiko pencemaran cenderung lebih kecil karena jumlah air yang mengangkut polutan juga berkurang.

c. Media akuifer

Jenis dan karakteristik media akuifer memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah polutan yang dapat menembus akuifer. Pola pergerakan polutan ditentukan oleh sifat fisik media akuifer, seperti tingkat porositas, keberadaan retakan, dan tingkat permeabilitas. Semakin besar kemampuan media akuifer untuk menahan polutan, semakin lama waktu yang dibutuhkan polutan untuk bergerak, sehingga risiko kontaminasi air tanah menjadi lebih kecil. Dengan kata lain, media akuifer yang lebih padat atau kurang permeabel cenderung lebih efektif dalam mengurangi kerentanan terhadap pencemaran.

d. Jenis dan Media tanah

Tanah berperan langsung dan signifikan dalam mengendalikan jumlah recharge air yang meresap hingga mencapai muka air tanah serta memengaruhi pergerakan polutan. Material tanah dengan tekstur halus, seperti lempung atau lanau, cenderung memiliki permeabilitas rendah, sehingga membatasi mobilitas polutan. Selain itu, ketebalan lapisan tanah juga memengaruhi durasi waktu polutan mencapai akuifer. Lapisan tanah yang lebih tebal memberikan lebih banyak waktu untuk proses seperti filtrasi, biodegradasi, adsorpsi, dan volatilisasi, yang secara signifikan dapat mengurangi kontaminasi. Dengan demikian, tanah yang tebal dan bertekstur halus dapat menjadi penghalang alami yang efektif terhadap polutan.

e. Topografi dan Kemiringan Lahan

Setiap permukaan tanah mempunyai kemiringan yang berbeda beda. Topografi dapat mempengaruhi kontaminan mengalir atau menahan di permukaan air tanah. Semakin curam kelerenan maka jumlah runoff akan semakin besar sehingga air terkontainasi yang meresap kedalam tanah dan mencapai akuifer akan berkurang. Lahan yang landai menyebabkan air tertahan di permukaan sehingga air terkontaminasi akan lebih berpotensi untuk meresap dan mencemari air tanah

f. Pengaruh media pada zona tak jenuh air

Karakteristik zona tak jenuh air ditentukan oleh sifat material penyusunnya, seperti jenis dan lapisan tanah serta batuan di bawah muka

air tanah. Material ini berfungsi sebagai media yang mengatur arah dan panjang lintasan aliran air maupun polutan. Pengaturan lintasan ini memengaruhi waktu perjalanan polutan, yang pada akhirnya berdampak pada jumlah material pencemar yang dapat mencapai akuifer. Arah lintasan aliran sangat dipengaruhi oleh keberadaan retakan pada material, selain juga ditentukan oleh tingkat permeabilitas tanah dan kedalaman muka air tanah.

g. Jarak dengan Sumber Pencemar

Faktor potensial penyebaran kontaminan dipengaruhi oleh jarak dari sumber pencemar atau air tanah yang sudah tercemar berat. Semakin dekat lokasi limbah domestik, semakin besar kemungkinan kontaminasi, terutama jika media aquifer atau tidak ada nya lapisan pelindung yang memadai.

2.7 Penelitian Sebelumnya

Pada **Tabel 2.2** berisi informasi mengenai penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan dan referensi untuk memperkuat pembahasan, serta memiliki relevansi dengan penelitian ini. Informasi tersebut disajikan dalam bentuk tabel yang memuat nama penulis, tahun, tujuan penelitian, dan hasil atau kesimpulan.

Tabel 2.2. Penelitian Sebelumnya

No.	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Lathifa et al, 2023	Analisis Kualitas Air Tanah Berdasarkan Parameter Mikrobiologi (Studi Kasus : Kapanewon Ngaglik, Yogyakarta).	Penggunaan analisis spasial metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk memetakan parameter mikrobiologi. ditemukan kadar paling tinggi pada wilayah yang berdekatan dengan sumber pencemar seperti septic tank atau peternakan

No.	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
2.	Adnan et. Al, 2014	Spatial Analysis of the Groundwater Quality in the Peshawar District	Menganalisis kualitas air tanah di Distrik Peshawar, Pakistan, serta mengidentifikasi distribusi spasial parameter kualitas air tanah. Menggunakan GIS dengan metode IDW. Hasil menunjukkan sebagian besar parameter kualitas air (TDS, kalsium, magnesium, bikarbonat, klorida, sulfat, natrium) berada dalam batas standar WHO. Namun, beberapa area menunjukkan konsentrasi tinggi TDS dan ion tertentu. Semua parameter yang memiliki korelasi positif terdistribusi ke arah yang sama yaitu dari tenggara ke barat laut, namun yang tidak memiliki korelasi terdapat sedikit perbedaan arah distribusi
3.	FD Ekarini, S Rafsanjani, S Rahmawati dan AA Asmara, 2021	Groundwater Mapping of Total Coliform Contaminan in Sleman, Yogyakarta,Indonesia	• Penelitian ini memperoleh data sekunder dari Badan Lingkungan Hidup Provinsi Yogyakarta dan Laporan Pengelolaan Lingkungan Hidup 2019. Parameter mikroba, total coliform, dan sumur pemantau dari 2018-2019 digunakan. Data primer tentang properti sumur pantau dikumpulkan dengan observasi dan wawancara. Pemetaan spasial menggunakan metode IDW • Penelitian ini menunjukkan penggunaan IDW dalam pola grid dapat membantu memetakan resiko pencemaran air tanah di wilayah studi. Hasil analisis mengungkapkan bahwa distribusi

No.	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			pencamaran parameter mikrobiologi tidak berkaitan langsung dengan efluen IPAL Komunal. Selain itu, kualitas air tanah cenderung mudah mengalami perubahan dengan fluktuasi yang cukup cepat. Faktor faktor yang memengaruhi pencemaran air tanah antara lain arah aliran air tanah, operasional IPAL, serta kondisi sumur pantau di lokasi penelitian.

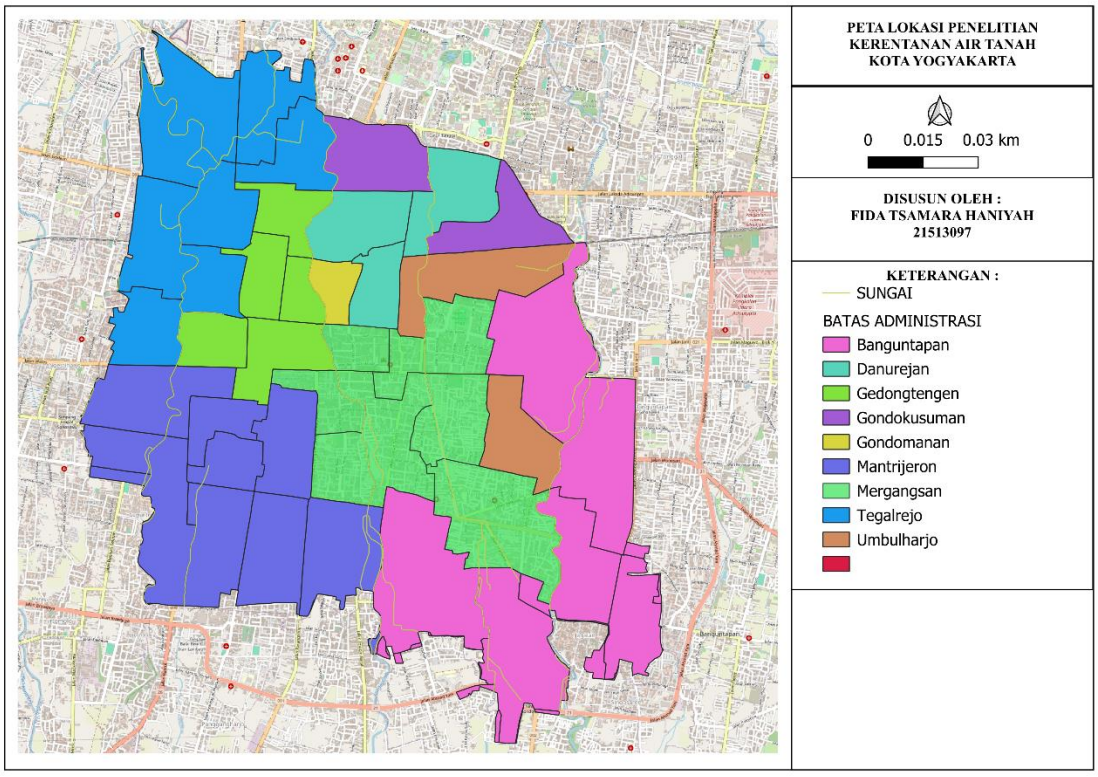
Pada penelitian sebelumnya, yang dilakukan Lathifa et al. (2023) dan Adnan et al. (2014), cenderung berfokus pada analisis spasial menggunakan metode IDW untuk memetakan distribusi parameter mikrobiologi. Sementara itu, penelitian Ekarini et.al (2021) juga menggunakan metode yang sama dan mengidentifikasi beberapa faktor seperti air tanah dan operasional IPAL.

Meskipun studi-studi terdahulu telah menganalisis distribusi spasial dan faktor-faktor seperti penggunaan lahan atau topografi, belum ada penelitian yang secara spesifik dan mendalam mengkaji bagaimana konsentrasi parameter fisik dan kimia secara langsung mempegaruhi keberadaan atau konsentrasi mikroorganisme. Dengan demikian, penelitian ini untuk mengisi celah dan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dinamika kualitas air tanah.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Kota Yogyakarta merupakan ibukota Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dan merupakan daerah tingkat II yang berstatus kota yang berada pada 4 daerah tingkat II lainnya yang berstatus Kabupaten. Kota Yogyakarta merupakan daerah tersempit dibanding dengan daerah tingkat II lainnya, yaitu 32,5 km^2, 1,025% dari luas Provinsi DIY dengan luas 3.250 hektar. Kota Yogyakarta secara umum memiliki bentang alam dataran rendah yang relatif datar dari barat ke timur dan dari utara ke selatan memiliki kemiringan 1 derajat. Selain itu Kota Yogyakarta juga dilintasi oleh tiga sungai utama yaitu Sungai Gajah Wong di sebelah timur, Sungai Code di bagian tengah, dan Sungai Winongo di sebelah barat.



Gambar 3.1. Peta Lokasi Penelitian Kota Yogyakarta Berdasarkan Kecamatan

Kota Yogyakarta secara geografis terletak di bentang antara 110º 24ˈ 19ˈˈ sampai 110º 28ˈ 53ˈˈ Bujur Timur dan 7º 15ˈ 24ˈˈ sampai 7º 49ˈ 26ˈˈ Lintang Selatan dengan ketinggian rata-rata 114 meter diatas permukaan laut. Kota Yogyakarta berada di tengah Provinsi DIY, dengan batas batas wilayah sebagai berikut:

- Sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Sleman
- Sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman
- Sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Bantul
- Sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman

Kota Yogyakarta terbagi menjadi 14 Kecamatan, 45 Kelurahan, 617 RW, dan 2.531 RT. Berikut merupakan Kecamatan yang ada di Kota Yogyakarta :

- Kecamatan Mantirejon
- Kecamatan Kraton
- Kecamatan Mergangsan
- Kecamatan Umbulharjo
- Kecamatan Kotagede
- Kecamatan Gondokusuman
- Kecamatan Danurejan
- Kecamatan Pakualaman
- Kecamatan Gondomanan
- Kecamatan Ngampilan
- Kecamatan Wirobrajan
- Kecamatan Gedongtengen
- Kecamatan Jetis
- Kecamatan Tegalrejo

Kota Yogyakarta mempunyai tanah yang cukup subur karena berada pada dataran lereng gunung merapi (*flufia vulcanic foot plain)* sebagian besar tanahnya mengandung tanah regosol atau tanah vulkanis muda. Kota Yogyakarta merupakan daerah urban sejalan dengan perkembangan perkotaan dan pemukiman yang kian pesat, lahan pertanian yang berada di Kota Yogyakarta setiap tahun

mengalami penyusutan. Namun Kota Yogyakarta mempertahankan Ruang Terbuka Hijau (RTH) untuk konservasi lingkungan. Luasan RTH dan RTH privat semakin meningkat berturut turut dari tahun 2019 sebesar 5,867% dan 12,93% sehingga luas total RTH di Kota Yogyakarta yaitu 18,80% dari total luas wilayah. (Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, 2019)

Dari segi populasi berdasarkan proyeksi interim 2020-2023 Kota Yogyakarta memiliki jumlah penduduk yang paling sedikit yaitu sekitar 378,9 ribu jiwa dari total jumlah penduduk di Provinsi DIY sekitar 3.761.000 jiwa dengan kepadatan 1.200 jiwa/km². Kabupaten Sleman memiliki jumlah penduduk terbanyak, sekitar 1,15 juta jiwa (Badan Pusat Statistik , 2020).

Penelitian ini dilakukan dengan rentang waktu 3 (tiga) bulan dari bulan, berawal dari bulan februari 2025 hingga mei 2025. Dengan mengumpulkan data sekunder, membaca literatur dari penelitian sebelumnya, dan mengolah data yang sudah didapat.

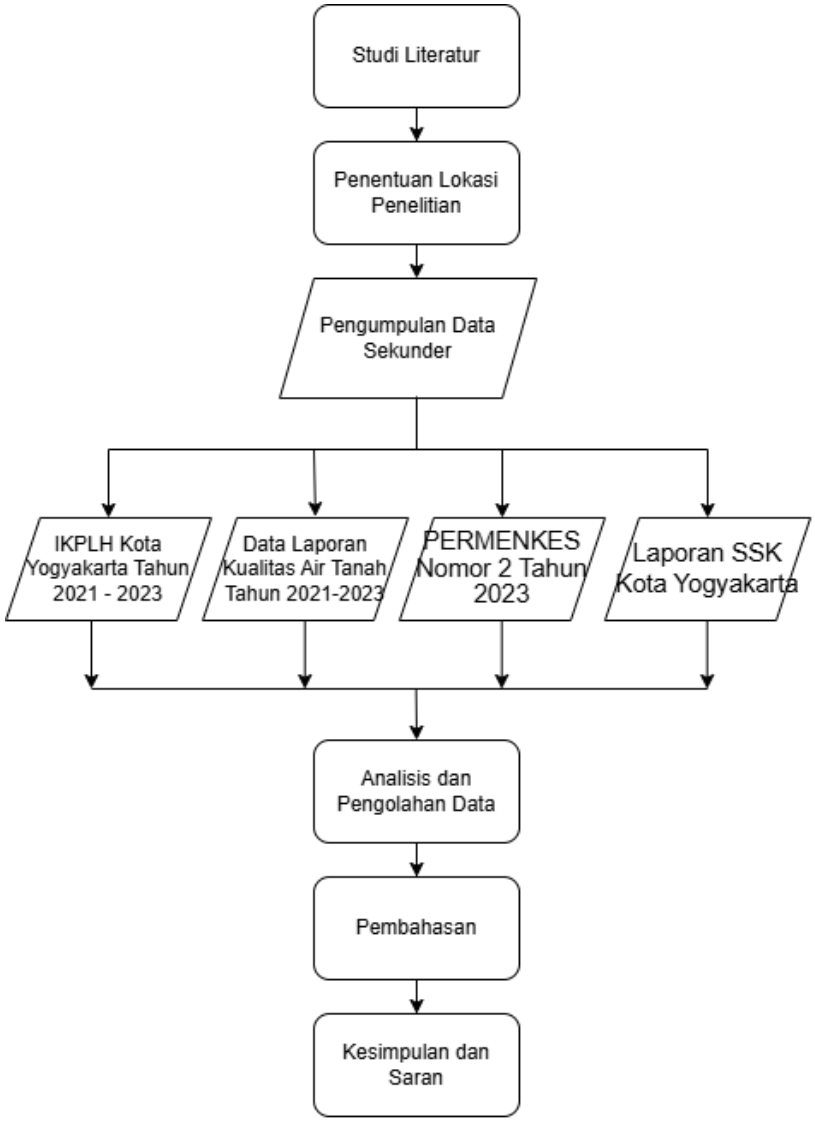
Lokasi penelitian yang dipilih adalah Kota Yogyakarta dengan seluruh kecamatan yang ada di Kota Yogyakarta. Lokasi ini dipilih supaya cakupan persebaran luas dan melengkapi data yang tidak lengkap disetiap kelurahan nya, sehingga didapatkan trend tiap tahun nya dengan kecamatan yang ada di Kota Yogyakarta. Lokasi sampling dari 2022 hingga 2023 semakin bertambah jumlahnya dari 90 titik sampling untuk tahun 2022, 171 titik sampling untuk tahun 2023, dan 400 titik sampling untuk tahun 2024.

3.2 Alat Yang Digunakan

Pada proses penelitian tugas akhir ini menggunakan metode kuantitatif dengan data sekunder yang didukung dengan alat untuk mengolah data yang sudah di dapatkan. Alat yang dipergunakan untuk pembuatan tugas akhir ini adalah dengan menggunakan perangkat lunak seperti Qgis, GPS Maps untuk penentuan titik lokasi, google earth untuk mendapatkan citra satelit, microsoft excel, microsoft word dan dengan perangkat keras seperti laptop.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan tahapan prosedur penelitian berdasarkan rencana tersusun dalam kerangka penelitian :



Gambar. 3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada Penelitian ini menggunakan data sekunder untuk melengkapi data yang dibutuhkan dan juga menggunakan jurnal dan buku serta dokumen untuk melakukan studi literatur. Setelah data yang sudah dikumpulkan kemudian dilakukan pengolahan data. Kerangka penelitian merupakan tahapan dan proses yang mengeluarkan *output* berupa laporan tertulis.

3.4 Data Yang Digunakan

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapat dari situs web resmi Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta dengan bentuk dokumen hasil pelaporan seperti IKPLHD (Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah) 2022-2023, Laporan Hasil Pemantauan Kualitas air 2022-2024, jurnal yang diambil dari laman web *Google Scholar, Proquest,* dan *Science Direct*, baik yang internasional maupun nasional. Data yang digunakan menggunakan rentang waktu 3 (tiga) tahun kebelakang dimulai dari 2022 hingga 2024 sebab dokumen ditahun tersebut mempunyai kelengkapan data. Data untuk menunjang hasil analisis spasial didapatkan dari website resmi geoportal provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, serta jurnal penelitian terdahulu yang mendukung.

Data akan digunakan untuk mendukung hasil pembahasan, kesimpulan. Analisis data yang dilakukan menggunakan analisis data kuantitatif serta spasial. Berikut merupakan tahapan prosedur data yang akan dilakukan :

Tabel 3.1. Jenis Data Yang Digunakan Untuk Penelitian

No.	Jenis Data	Sumber
1	Jumlah penduduk Kota Yogyakarta Kepadatan penduduk Kota Yogyakarta Tingkatan ekonomi Kota Yogyakarta	Kota Yogyakarta Dalam Angka 2021 Kota Yogyakarta Dalam Angka 2022 Kota Yogyakarta Dalam Angka 2023
2	Laporan Kualitas Air Tanah 2022-2024	Laporan DLH Kabupaten Sleman https://lingkunganhidup.jogjakota.go.id/page/index/basis-data-lingkungan-hidup
3	PERMENKES Nomor 2 Tahun 2023	Kementrian Kesehatan Lingkungan
4	Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah	*Website* Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta
5	Peta Administrasi Kota Yogyakarta	*Website* InaGeoportal
6	Peta Penggunaan Lahan	*Website* Geoportal Jogjaprov.go.id
7	Peta Jenis Tanah dan Kontur	*Website* Geoportal Jogjaprov.go.id

3.5 Analisis Data Statistik Deskriptif

Penelitian ini menggunakan statistik untuk mengetahui hubungan antara variabel satu dengan yang lainnya. Hubungan antara satu variabel dengan variabel yang lain disebut korelasi. Untuk mengetahui korelasi, digunakan analisis korelasi yaitu analisis statistik dengan mengukur tingkat asosiasi atau hubungan antara variabel satu dengan variabel terikat (Rusydi Ananda, 2018). Teknik korelasi yang dipakai pada penelitian ini adalah Spearman dan Pearson. Dalam penelitian ini akan melakukan korelasi antara parameter fisik dan parameter kimia dengan parameter biologi. Untuk mengetahui signifikansi rata rata jumlah *E.coli* dan total *coliform* setiap wilayah kecamatan tiap tahun dari tahun 2022 hingga 2024 menggunakan analisis *Analysis Of Varians* (ANOVA) dua arah.

Selain menggunakan analisis statistik, analisis deskriptif juga diperlukan untuk menujang hasil dari penelitian ini. Analisis ini dilakukan untuk menyajikan data dan memberikan gambaran atau deskripsi data parameter fisik, kimia, dan biologi untuk setiap tahun di tahun 2021 hingga 2023 yang dapat dilihat dari nilai rata rata (mean), nilai tengah (median), nilai tertinggi (max), nilai terendah (min), persentil untuk mengukur posisi relatif suatu nilai, dan standar deviasi. Berikut merupakan rumus yang dipakai untuk analisis deskriptif :

a. Rata rata hitung (mean)

   Rata rata hitung dapat dilakukan dengan data tunggal dan data berkelompok dari distribusi frekuensi, rumusnya adalah :

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \qquad [1]$$

   Keterangan :

   x : jumlah data

   n : banyaknya data

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i f_i}{\sum n} \qquad [2]$$

   xi : titik tengah interval-i

fi: frekuensi untuk nilai xi

b. Median

Merupakan nilai tengah untuk data yang berada di atas atau sama dengan data tersebut, berikut merupakan rumusnya :

$$Me = bb + p(\frac{\frac{1}{2}n-F}{f})$$

[3]

Keterangan :

bb : batas bawah,dimana median akan terletak

p : panjang kelas interval

F : jumlah semua frekuensi sebelum kelas interval

F : frekuensi kelas median

c. Persentil

Persentil yaitu membagi data menjadi 100 bagian sama besar, dengan rumus :

$$nilai\ Pi = X_{\frac{i}{100}(n+1)} X_{\frac{i}{100}(n+1)}$$

[4]

d. Standar deviasi

Standar deviasi yaitu suatu nilai yang menunjukan tingkat atau derajat variasi kelompok atau ukuran standar dari penyimpangan reratanya. Perhitungan ini bisa dilakukan dengan data tunggal dan data berkelompok, berikut merupakan rumus untuk standar deviasi data tunggal :

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - (\frac{\sum x}{n})^2}$$

[5]

Selanjutnya data akan dilakukan uji normalitas dengan metode chi-square digunakan untuk menentukan apakah suatu data mengikuti distribusi normal atau tidak. Metode chi-square digunakan untuk mengetahui perbedaan yang signifikan frekuensi observasi antar dua kelompok parameter atau lebih, dengan rumus :

$$x^2 = \frac{\sum(f_0 - f_t)}{f_t}$$

[6]

$$ft = \frac{total\ baris}{N} \times (total\ kolom)$$

[7]

Keterangan :

X^2 : chi square

F_0 : frekuensi observasi

F_h : frekuensi yang diharapkan (frekuensi teoritik = f_t)

Untuk menganalisis signifikansi digunakan metode ANOVA atau disebut analisis of varians untuk membuktikan apakah terdapat signifikansi dari data setiap parameter terhadap *E.coli* dan *total coliform* setiap kecamatan dan per tahun. ANOVA dapat dibedakan menjadi 2 yaitu anova satu arah dan anova dua arah. Namun pada penelitian ini menggunakan anova dua arah karena menganalisa masalah yang terdiri dari dua variabel independen (faktor) yaitu data jumlah rata rata *E.coli* dan *total coliform* wilayah kecamatan (faktor pertama) dan tahun pengamatan (faktor kedua). Sedangkan variabel dependen yang di analisis adalah konsentrasi parameter mikrobiologis.

Model anova yang digunakan adalah anova dua arah model tetap. Karena penelitian ini mempunyai faktor faktor yang spesifik yang sudah ditentukan dan interpretasi hasil terbatas pada kecamatan dan tahun yang diuji. Dengan model ini dapat membandingkan rata rata jumlah *E.coli* dan *total coliform* setiap kecamatan per tahun untuk satu variabel perlakuan. Model matematisnya adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

[8]

Keterangan :

Y_{ijk} = nilai *E.coli* atau *total coliform* di kecamatan i pada tahun j

μ = rata rata keseluruhan

α_i = efek kecamatan ke-i

β_j = efek tahun ke-j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efek interaksi antara kecamatan dan tahun

ϵ_{ijk} = galat (error)

Selanjutnya perhitungan anova dua arah model tetap dapat dilakukan perumusan hipotesis sebagai berikut :

a. Pengaruh utama faktor A

H_0 : $\alpha_1 = ... = \alpha_i = 0$ (tidak ada pengaruh faktor A)

H_1 : paling sedikit ada satu i dengan $\alpha_1 \neq 0$ (ada pengaruh faktor A)

b. Pengaruh utama faktor B

H_0 : $\beta_1 = ... = \beta_i = 0$ (tidak ada pengaruh faktor B)

H_1 : paling sedikit ada satu j dengan $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh faktor B)

c. Pengaruh interaksi faktor A dengan faktor B

H_0 : $(\alpha\beta)11 = (\alpha\beta)11 = ... = (\alpha\beta)_{ij} = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi faktor A dan faktor B)

H_1 : paling sedikit ada pasangan (i,j) dengan $(\alpha\beta)ij \neq 0$ (ada pengaruh interaksi faktor A dan faktor B)

d. Menentukan taraf nyata (α) dan F tabelnya

Untuk baris : v1 = b – 1 dan v2 = (k-1)(b-1)

Untuk kolom : v1 = k -1 dan v2 = (k-1)(b-1)

e. Menentukan kriteria pengujian

Ho diterima apabila $F_0 \leq F_\alpha$ (v1;v2)

Ho ditolak apabila $F_0 > F_\alpha$ (v1;v2)

Untuk menganalisis korelasi antar parameter teknik korelasi spearman digunakan apabila Kumpulan data merupakan data ordinal. Namun tidak memperhatikan hubungan linier antara kedua variabel yang dicari korelasinya. Rumus yang dipakai yaitu :

$$r_s = 1 - \frac{6\sum D^2}{n(n^2-1)}$$

[9]

Keterangan :

r_s = koefisien korelasi spearman

D = *difference* (selisih antara X dan Y)

n = jumlah sampel

Untuk menguji hipotesis maka akan dilakukan dengan membandingkan antara r_s hitung dengan r_s tabel dengan ketentuan :

Jika r_s hitung > tabel maka H_0 ditolak dan H_1 diterima

Jika r_s hitung ≤ tabel maka H_0 diterima dan H_1 ditolak

Teknik korelasi pearson dengan menggunakan uji t, yang digunakan untuk mengetahui signifikansi variabel bebas terhadap variabel terikat berpengaruh atau tidak. Untuk mengetahui korelasi nya maka dilakukan dengan rumus :

$$t_{\text{hitung}} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

[10]

keterangan :

t : probabilitas

r : koefisien korelasi

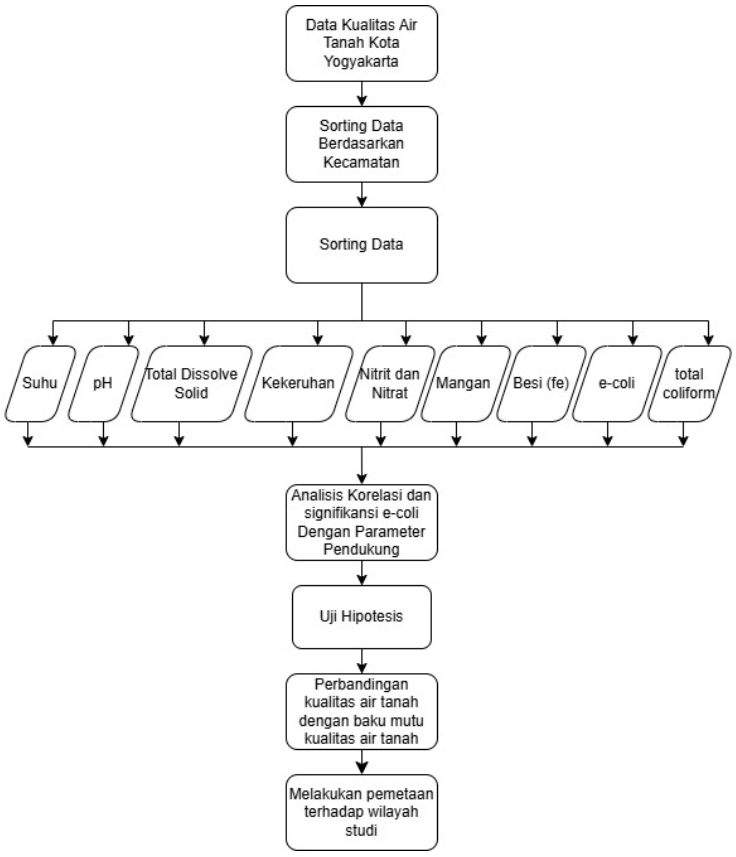
n : jumlah sampel

Untuk menguji hipotesis maka akan dilakukan dengan membandingkan antara t_s hitung dengan t_s tabel dengan ketentuan :

Jika t_s hitung > tabel maka H_0 ditolak dan H_1 diterima

Jika t_s hitung < tabel maka H_0 diterima dan H_1 ditolak

Analisis data statistik digunakan sebagai penafsiran Kesimpulan berdasarkan data, menguji hipotesis, memprediksi nilai kualitas air tanah berikutnya.



Gambar 3.2. Diagram Alir Analisis Statistik

Setelah dilakukan uji hipotesis dengan ANOVA selanjutnya korelasi Pearson pada data yang telah divalidasi. Digunakan korelasi pearson karena data yang diuji sudah berdistribusi normal. Hasilnya dibandingkan dengan baku mutu kualitas air tanah berdasarkan PERMENKES No. 2 Tahun 2023. Analisis ini menentukan kecamatan yang melebihi atau berada di bawah baku mutu setiap tahun. Data disajikan dalam diagram untuk analisis spasial.

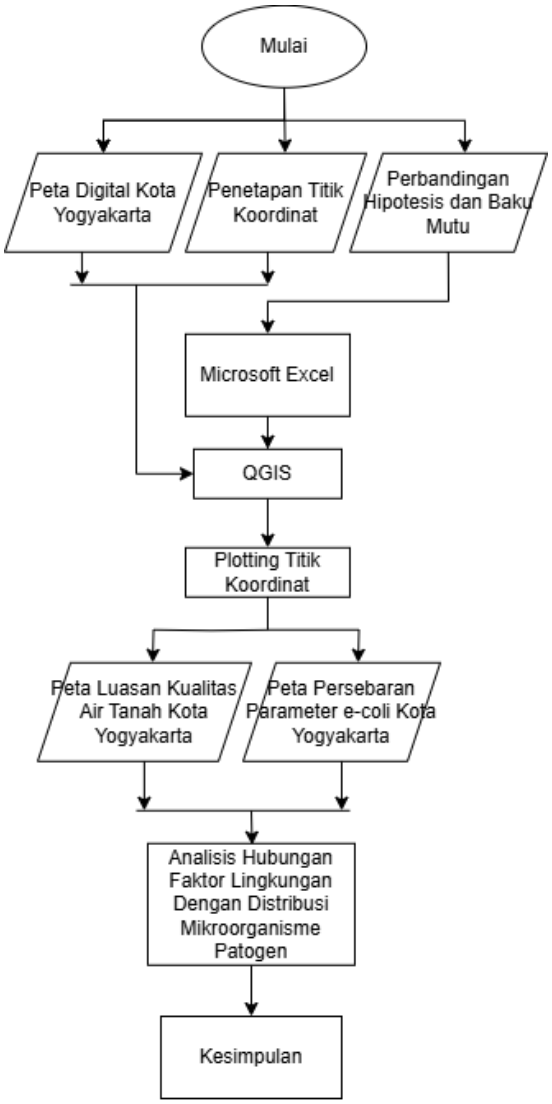
Kesimpulan yang ditarik berdasarkan analisis data korelasi dan signifikansi parameter kimia dan fisika dengan *E.coli* mendukung dalam menilai kualitas air tanah terhadap kontaminasi. Korelasi antara parameter kimia dan fisika seperti pH, kekeruhan, TDS, suhu, serta kandungan nitrat, nitrit, besi, mangan, dan flouride, dapat mengungkap pola hubungan faktor-faktor yang berkontribusi terhadap pencemaran biologi. Kondisi kimia dan fisika tertentu dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi tersebut mendukung keberlangsungan mikroorganisme patogen. Analisis uji signifikansi, membantu dalam mementukan apakah variasi parameter kimia dan fisika secara nyata mempengaruhi pertumbuhan mikroba.

3.6 Analisis Data Spasial

Analisis data secara spasial digunakan untuk mengevaluasi data geografis yang memiliki spasial (ruang) untuk memahami pola, hubungan sebab akibat terkait dengan Lokasi. Analisis secara spasial menggunakan fasilitas alat GIS untuk mengukur, memetakan, dan memodelkan fenomena dari hasil yang di ambil di lapangan. Sebelum memetakan data diolah terlebih dahulu melalui *software Microsoft Excel*. Dalam memvisualisasikan pemetaan distribusi parameter *E.coli* dibutuhkan titik koordinat untuk menunjukan titik lokasi uji kualitas air tanah dengan menggunakan simbol dan warna untuk memudahkan dalam membaca.

Hasil analisis data spasial pada penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dan eksploratif yang menggambarkan distribusi fitur geografis dan mengidentifikasi pola atau hubungan dalam data spasial. Data spasial yang dimaksud berupa data elevasi, data topografi dan data atribut. Analisis spasial berdasarkan penggunaan lahan dilakukan untuk mengetahui rasio dari beban pencemar pathogen mikroorganisme untuk kategori tercemar rendah, tercemar sedang, dan tercemar tinggi. Pemantauan kualitas air ini diharapkan dapat

memberikan Gambaran mengenai pola distribusi kualitas air tanah di Kota Yogyakarta, terutama terkait *E.coli*.



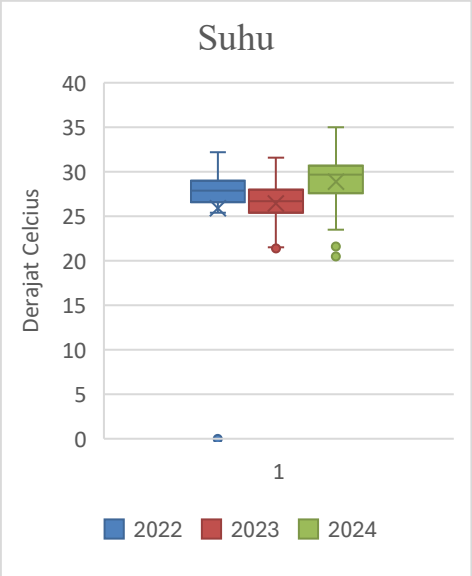
Gambar 3.3. Diagram Alir Analisis Secara Spasial

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Statistik Parameter Kualitas Air

Analisis parameter kualitas air ini menggunakan data sekunder hasil sampling kualitas air tanah pada tahun 2022, 2023, dan 2024 dari laman web Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. Pengambilan sampel secara acak tidak terpaut oleh waktu yaitu dengan rentang bulan januari hingga desember. Lokasi titik sampling secara acak, dan banyak ditemukan fasilitas umum seperti sekolah, kantor, Ruang Terbuka Hijau Publik, pasar, sumur umum, dan sumur warga. Parameter yang akan diteliti adalah suhu, pH, kekeruhan, *Total Dissolve Solid (TDS)*, nitrat, nitrit, besi, mangan serta parameter biologi yaitu *Total Coliform* dan *Escherichia coli*.

Analisis deskriptif dilakukan untuk melihat rata-rata setiap tahun berdasarkan masing masing parameter. Untuk perlakuan data yang menggunakan *Limit of Detection* (LoD) bahwa semua nilai LoD diperlakukan sebagai nilai asli. Hasil analisis parameter fisika dan kimia kualitas air tanah di Kota Yogya mengungkapkan bahwa tidak semua parameter berada dalam kisaran nilai standar atau melebihi baku mutu yang ditetapkan pada Permenkes nomor 2 Tahun 2023. Hasil ringkasan analisis deskriptif dirangkum dalam *boxplot* **Gambar 4.1** untuk setiap parameter per tahun yang mencakup nilai minimum, kuartil pertama (Q1), median (Q2), kuartil ketiga (Q3), nilai maksimum, rata-rata, dan outlier.



Gambar 4.1. *Boxplot* Konsentrasi Suhu Setiap Tahun Pengamatan

Pada Permenkes No.2 Tahun 2023 suhu yang diperbolehkan saat pengukuran adalah maksimal 3 derajat celcius dari suhu udara saat itu. Tahun 2022 beberapa sampel tidak diketahui suhu nya, menjadi nol sehingga dapat dijadikan data anomali. Rentang suhu minimum adalah 25°C dan nilai maksimumnya adalah 32,2°C.

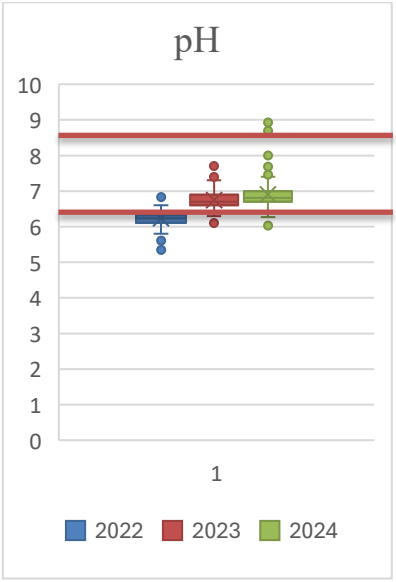
Pada tahun 2023 rentang suhu minimum adalah 21,4°C dan nilai maksimumnya adalah 31,6°C. median 26,7 sangat simetris terhadap IQR dan rata-rata suhu berada pada 26,4°C yang berada sangat dekat dengan median yang menunjukan distribusi relatif simetris dan normal. Suhu pada tahun ini lebih stabil dibandingkan tahun 2022.

Pada tahun 2024 rentang suhu minimum adalah 18°C dan nilai maksimumnya adalah 34°C menunjukan rentang yang lebih luas dibandingkan 2023. median 29°C sedikit lebih tinggi dibandingkan tahun-tahun sebelumya dan rata-rata suhu berada sangat dekat dengan median yang menunjukan distribusi relatif simetris dan normal. Terdapat outlier bawah dengan suhu 18-20°C.

Dalam tiga tahun tersebut terjadi kecenderungan kenaikan suhu dari tahun 2022 hingga 2024 baik dari segi median, rata-rata, hingga rentang keseluruhan. Variabilitas terjadi pada tahun 2024 dengan munculnya beberapa outlier bawah. Sementara tahun 2023 menunjukan variabilitas kecil dan distribusi lebih simetris. Data sampling suhu tahun 2022 menunjukan ketidakteraturan data karena banyak

outlier ekstrem. Pada tahun 2023 menunjukan kestabilan suhu, dan pada tahun 2024 menampilkan kenaikan suhu umum yang ditunjukan dengan munculnya outlier bawah. Sehingga tren suhu tiap tahun yaitu semakin meningkat. Berdasarkan buku Statistik Lingkungan Hidup DIY 2023/2024 suhu rata rata meningkat.

Perubahan suhu mempunyai dampak terhadap proses fisik, kimia, dan biologi pada lingkungan air. Suhu air juga dapat mempengaruhi kelarutan oksigen, dan kelarutan oksigen tersebut secara langsung dapat mempengaruhi kehidupan organisme seperti tumbuhan dan reproduksi biota. Air memiliki sifat khusus yaitu densitas maksimum terjadi pada suhu 40°C, bukan pada titik beku air. Suhu dapat meningkat bukan hanya karena pengaruh sinar matahaari (pancaran radiasi matahari), meningkatnya suhu air dapat terjadi oleh kondensasi dari uap air, panas dari pusat bumi, panas dari atmosfer, dan panas dari hasil reaksi kimia dalam air (Nur Zaman, 2023).



Gambar 4.2. *Boxplot* Konsentrasi pH Setiap Tahun Pengamatan

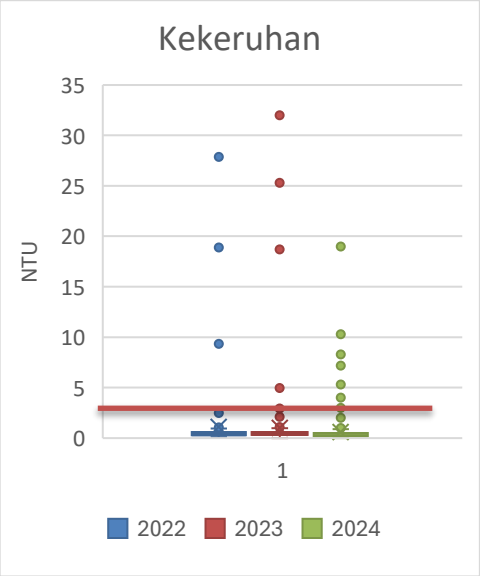
Parameter kimia yaitu pH pada tahun 2022. pH yang paling basa berada pada angka 6,83 kecamatan Umbulharjo dan paling asam pada angka 5,35 di Kecamatan Gondokusuman. median 6,2. Dengan rata-rata pH tahun 2022 yaitu 6,2. Pada tahun 2022 angka pH stabil dan cenderung ke asam, tanpa adanya nilai ekstrem yang terlalu menyimpang. Jika dibandingkan dengan baku mutu

Permenkes No.2 Tahun 2023 yaitu 6,5-8,5, pH pada tahun 2022 tidak memenuhi baku mutu. pH yang paling asam berada pada Kecamatan Gondokusuman dengan rata-rata pH yaitu 5,98 dan yang paling basa dengan rata rata 6,38 Kecamatan Mergangsan. Jika dibandingkan dengan baku mutu Permenkes No.2 Tahun 2023 yaitu 6,5-8,5 pH pada tahun 2022 beberapa tidak memenuhi baku mutu.

Pada tahun 2023 rentang distribusi pH dari 6,1 pada Kecamatan Kotagede hingga 7,3 pada Kecamatan Tegalrejo. pH paling asam berada pada angka 6,1 dan paling basa adalah 7,8. Terdapat nilai outlier yang cukup signifikan, terutama pada *Upper Fence* dengan lebih dari 5 titik di luar batas yaitu pada angka 7,4; 7,6; 7,8. Median berada pada angka 6,7 ini mencerminkan kecenderungan arah pH netral. Jika dilihat pada rata rata kecamatan pH paling asam berada pada Kecamatan Kotagede dengan nilai 6,56 dan paling basa pada Kecamatan Kraton dengan nilai 7 .Tahun 2023 menunjukan kenaikan dalam pH. Yang dapat disebabkan oleh perubahan kualitas air atau proses netralisasi alami.

Pada tahun 2024 rentang distribusi pH dari 6,2 pada Kecamatan Ngampilan hingga 7,5 pada Kecamatan Jetis dengan kemunculan outlier yang jauh lebih tinggi, hingga mendekati angka 8,93 di Kecamatan Mantrijeron. Median berada pada angka 6,81 ini mencerminkan kecenderungan arah pH distribusi ke kanan. Di tahun 2024 hanya pada Kecamatan Ngampilan yang kurang dari baku mutu sebab terlalu asam yaitu dengan angka rata-rata kecamatan 6,4.

Tahun 2024 menunjukan peningkatan pH yang signifikan dengan variasi yang lebih besar. Banyaknya titik outlier atas menunjukan kualitas air mengalami kondisi basa yang tidak biasa, yang bisa disebabkan oleh kontaminasi pencucian bahan alkalis, atau efek antropogenik. Pada suatu badan air nilai pH tidak terlepas dari berbagai aktivitas yang terjadi di badan air. pH yang konstan dapat terjadi karena adanya penyangga yang cukup kuat dari hasil keseimbangan karbon dioksida, asam karbonat, karbinat, dan bikarbonat yang disebut buffer (Supriatna, 2020)**.** Setiap perubahan satu unit nilai pH dapat mengindikasikan perubahan sepuluh kali dalam konsentrasi ion hidrogen. Suatu larutan dengan pH 4 dapat memiliki ion hidrogen sepuluh kali lebih banyak daripada larutan yang mempunyai pH 5.



Gambar 4.3. *Boxplot* Konsentrasi Kekeruhan Setiap Tahun Pengamatan

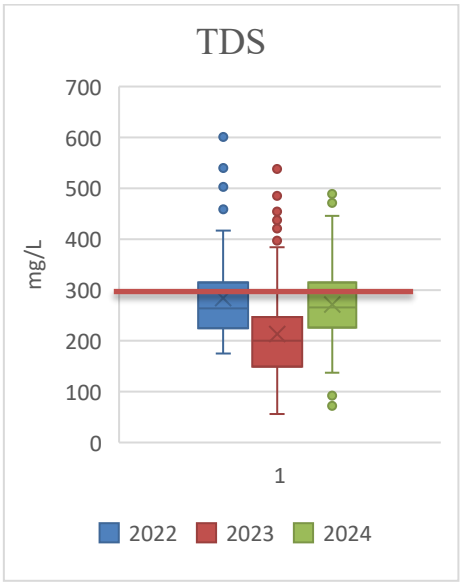
Pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 baku mutu kualitas air tanah parameter fisika kekeruhan yaitu <3 NTU. Tahun 2022 rentang IQR berada pada angka 0,1 NTU hingga 0,4 NTU namun banyak ditemukan nilai outlier 1,13 hingga nilai outlier ekstrim 27,85 NTU yang berada di Kecamatan Wirobrajan Kelurahan Pekuncen, 9,33 NTU berada di Kecamatan Gondomanan , dan 18,9 NTU beradaa pada Kecamatan Mergangsan. Tahun 2022 menunjukan kekeruhan rendah, namun terdapat beberapa kekeruhan yang ekstrem. Jika dilihat dari rata rata per kecamatan, Kecamatan Mergangsan dengan nilai 3 NTU dan NTU Kecamatan Wirobrajan 9,55 NTU melebihi baku mutu.

Pada tahun 2023 menunjukan rentang angka IQR 0 NTU hingga 3 NTU dengan nilai median 0,41. Terdapat beberapa outlier yang ekstrem dengan nilai 32 NTU pada Kecamatan Wirobrajan. Jika dilihat dari rata rata per kecamatan, Kecamatan Wirobrajan 3,08 NTU melebihi baku mutu. Pada tahun 2023 menunjukan kenaikan kejadian kekeruhan ekstrem, daripada tahun sebelumnya.

Pada tahun 2024 rentang utama masih dibawah 1 NTU.median dan rata rata mendekati angka tahun sebelumnya, meskipun lebih tinggi yaitu 0.3 untuk median dan 0,6 untuk rata-rata. Tahun 2024 menampilkan outlier yang lebih banyak dan lebih merata antara 2 hingga 12 NTU, tidak ada nilai ekstrem setinggi 2023 tetapi penyebaran outlier lebih rapat dan konsisten. Nilai tertinggi yaitu 19

NTU di Kecamatan Danurejan. Tahun 2024 menjadi tahun yang lebih sering terjadi kekeruhan di atas normal.

Tren untuk 3 tahun ini mempunyai median rendah disemua tahun, menandakan bahwa mayoritas sampel air memiliki kejernihan baik, meskipun ada beberapa yang melebihi baku mutu. Dari 2022 ke 2023 terjadi lonjakan outlier ekstrem, dari 2023 ke 2024 terjadi pergeseran menjadi lebih frekuen tetapi tidak setinggi sebelumnya. Menandakan pola gangguan air yang insidental menjadi lebih rutin dan tersebar luas.



Gambar 4.4. *Boxplot* Konsentrasi TDS Setiap Tahun Pengamatan

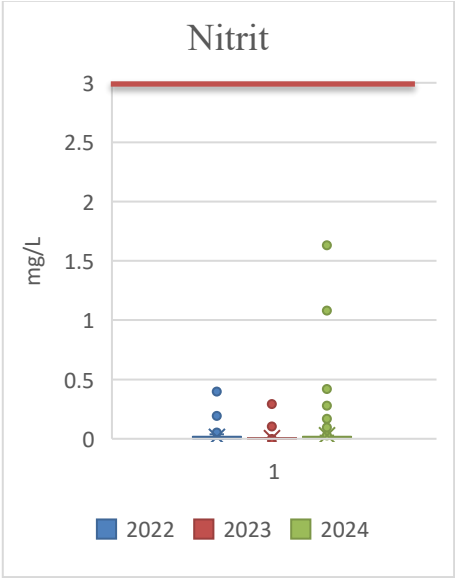
Pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 baku mutu kualitas air tanah parameter fisika *Total Dissolve Solid (TDS)* yaitu <300 mg/L. Pada tahun 2022. Dengan median 264 mg/L. Dan terdapat beberapa outlier dengan nilai maksimum 601 mg/L pada Kecamatan Mergangsan dan nilai minimum 175 mg/L pada Kecamatan Mantrijeron, namun tidak ada outlier ekstren ke bawah. Jika dilihat dari rata rata kecamatan, Kecamatan Gedongtengen 307,5 mg/L, Kecamatan Mergangsan 381,85 mg/L, Kecamatan Umbulharjo 306,61 mg/L melebihi baku mutu.

Pada tahun 2023. Dengan rata rata 213,4 mg/L dan median berada pada angka 200 mg/L. Dan pada tahun 2023 mempunyai banyak outlier diatas 250 mg/L. Angka maksimum pada Kecamatan Gedongtengen RTHP Pringgokusuman

yaitu 538 mg/L dan nilai minimum pada Kecamatan Gedongtengen Kantor Kelurahan Sosromeduran dengan nilai 56 mg/L.

Pada tahun 2024 rentang IQR 226-315 mg/L lebih lebar dari tahun 2023 yang menunjukan variasi antar nilai tengah lebih besar. Dengan rata-rata 271 mg/L dan median 265,5 mg/L. Dengan nilai maksimum yaitu 489 mg/L pada Kecamatan Umbulharjo dan nilai minimum 71,9 mg/L pada Kecamatan Gondomanan. Jika dilihat dari rata rata kecamatan, Kecamatan yang tidak memenuhi baku mutu yaitu Kecamatan Gedongtengen dengan nilai rata-rata 301 mg/L, Kecamatan Kotagede dengan nilai rata-rata 317 mg/L, Kecamatan Ngampilan dengan nilai rata-rata 304 mg/L.

Pada tahun 2022 memiliki nilai sebaran sempit namun outlier yang tidak banyak. Dan pada tahun 2023 banyak outlier yang melebihi nilai 384 mg/L, namun 2024 terjadi pergeseran nilai lebih tinggi dan menjadi lebih frekuen. Pada tahun 2024 terdapat outlier bawah. Sumber utama TDS dalam badan air dapat berasal dari aliran limbah pertanian, limbah industri, dan limbah rumah tangga. Kandungan unsur kimia paling umum di TDS adalah kalsium, kalium, nitrat, natrium, fosfat, dan klorida. Bahan kimia ini bisa berupa kation, anion, molekul, atau gabungan dari ribuan molekul.



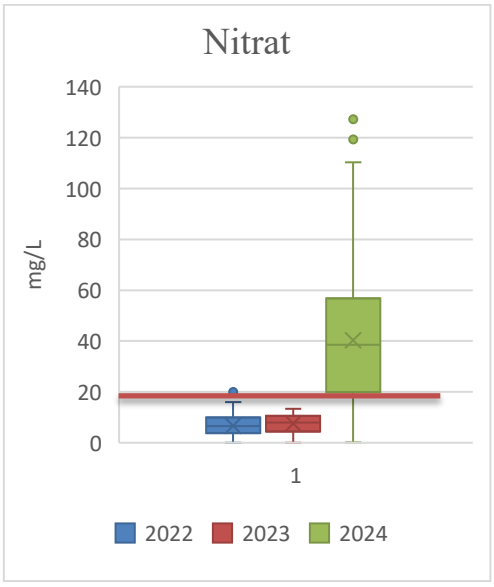
Gambar 4.5. *Boxplot* Konsentrasi Nitrit Setiap Tahun Pengamatan

Pada baku mutu Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 nilai yang diperbolehkan suatu air mengandung nitrit adalah 3 mg/L. Pada tahun 2022. Dengan nilai rata-rata 0,016 mg/L menunjukan kecenderungan distribusi positif dan median di angka 0,006 mg/L menunjukan konsentrasi nitrit di sebagian besar lokasi pengamatan relatif rendah. Terdapat beberapa outlier signifikan yaitu nilai maksimal nya 0,398 pada Kecamatan Ngampilan dan nilai minimumnya adalah 0. Pada 2022 tidak ada kecamatan yang melebihi baku mutu.

Pada tahun 2023 distribusi nitrit mirip dengan tahun sebelumnya, Dengan rata-rata 0,00557 mg/L dan median 0,002 mg/L lebih rendah menunjukan konsentrasi nitrit rendah secara umum. Tahun 2023 memiliki nilai outlier maksimal yaitu 0,292 mg/L pada Kecamatan Gedongtengen yang menunjukan adanya kondisi lokal yang menyebabkan peningkatan nitrit, meskipun sebagian sampel tetap rendah dan nilai minimum 0. Namun pada tahun 2023 tidak ada kecamatan yang melebihi baku mutu.

Pada tahun 2024 mengalami peningkatan yang ekstrem dalam jumlah dan nilai outlier, walaupun median tetap rendah yaitu 0,0064 mg/L mirip dengan tahun tahun sebelumnya, terdapat lebih banyak outlier yang signifikan, dengan nilai tertinggi yaitu 1,63 mg/L di Kecamatan Mantrijeron. Jumlah outlier yang banyak dan sebaran yang lebar mengindikasikan adanya fluktuasi konsentrasi nitrit yang tinggi. Rata rata yang meningkat secara tajam yaitu 0,0296 mg/L akibat dominasi outlier.

Nilai median yang rendah membuat tren dari 2022-2024 menunjukan bahwa konsentrasi nitrit pada sebagian besar titik pengamatan berada dalam kisaran yang aman. Namun, kehadiran outlier yang ekstrem terutama di tahun 2024, dapat menjadi indikator adanya pencemaran lokal atau proses nitrifikasi/denitrifikasi yang tidak stabil dalam lingkungan air tanah. Tahun 2022 dan 2023 menunjukan distribusi yang relatif stabil dengan beberapa nilai ekstrem, lonjakan nilai nitrit terjadi pada tahun 2024.



Gambar 4.6. *Boxplot* Konsentrasi Nitrat Setiap Tahun Pengamatan

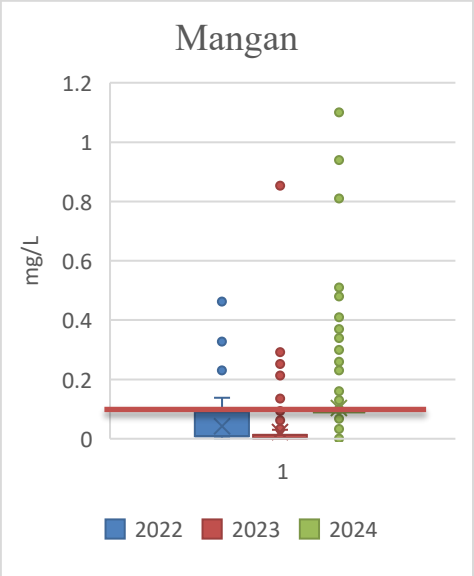
Pada baku mutu Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 nilai yang diperbolehkan suatu air mengandung nitrit adalah 20 mg/L. Pada tahun 2022 distribusi nitrat menunjukan, dengan nilai median 6,61 mg/L, sedangkan nilai rata-rata nya adalah 6,71. Terdapat satu outlier yang signifikan yaitu 19,98 mg/L pada Kecamatan Gondokusuman yang mengandung nilai nitrat yang jauh lebih tinggi, namun masih menunjukan batas normal. Nilai terkecilnya yaitu 0,005 mg/L pada Kecamatan Wirobrajan.

Pada tahun 2023, nilai nitrat cenderung lebih tinggi secara umum dibandingkan tahun sebelumnya. dan median naik menjadi 7,93 mg/L dan rata-rata 7,49 mg/L. Nilai maksimum namun bukan outlier berada pada nilai 13,38 mg/L Kecamatan Ngampilan. Tidak ditemukan outlier, namun rentang distribusi masih menyebar dari tahun sebelumnya. Ini mengindikasikan bahwa konsentrasi nitrat meningkat secara sistemik dan bukan disebabkan oleh kejadian ekstrem.

Distribusi nitrat pada tahun 2024 menunjukan perubahan yang signifikan,baik dari segi sebaran maupun skala nilai. Selain itu, adanya beberapa outlier ekstrem 127,2 mg/L pada Kecamatan Danurejan, menunjukan adanya kontaminasi ekstrem pada sejumlah titik pengamatan. Peningkatan tajam ini mencerminkan masalah serius dalam kualitas air dan mengindikasikan kemungkinan adanya kontaminasi dari aktivitas antropogenik, seperti penggunaan pupuk nitrogen berlebih, infiltrasi limbah domestik, atau kebocoran sistem

sanitasi. Pada tahun 2024 tidak ada kecamatan yang berada dibawah baku mutu Permenkes Nomor 2 Tahun 2023, kecamatan yang melebihi baku mutu yaitu Kecamatan Gondokusuman 45,22 mg/L, Kecamatan Danurejan 46,99 mg/L, Kecamatan Gedongtengen 55,47 mg/L, Kecamatan Gondomanan 35,21 mg/L, Kecamatan Jetis 30,33 mg/L, Kecamatan Kotagede 53,31 mg/L, Kecamatan Kraton 38,02 mg/L, Kecamatan Mantrijeron 20,4 mg/L, Kecamatan Mergangsan 41,12 mg/L, Kecamatan Ngampilan 49,06 mg/L,Kecamatan Pakualaman 49,64 mg/L, Kecamatan Tegalrejo 31,01 mg/L, Kecamatan Umbulharjo 42,16 mg/L, Kecamatan Wirobrajan 50,11 mg/L.

Tren distribusi konsetrasi nitrat terjadi peningkatan signifikan dari tahun ke tahun. Tahun 2022 menunjukan konsentrasi yang relatif stabil dan rendah, sedangkan tahun 2023 mulai menunjukan peningkatan dengan sebaran data yang lebih luas. Tahun 2024 mengalami lonjakan nilai secara drastis baik dari nilai tengah, kuartil atas, maupun munculnya outlier yang ekstrem. Dari penelitian (Surya, 2022) sumber utama yaitu berasal dari septic tank. Analisis rasio Cl/NO_3 dan Cl/Br berada pada rasio 1:1 sampai 8:1, kemudian disebutkan akuifer kota Yogyakarta yang tersusun atas material vulkanik merapi berupa pasir kasar dengan permeabilitas tinggi dapat dengan mudahnya meloloskan pencemar. Kedalaman muka air tanah yang relatif dangkal (2,4-9,3 meter). Jarak dan posisi saptictank di utara sumur lebih berpengaruh dibanding posisi barat atau selatan. Faktor demografis juga berperan, di mana semakin banyak jumlah anggota keluarga dan semakin tua umur pemukiman, konsentrasi nitrat semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh kejenuhan kapasitas adsorpsi amonium pada tanah serta berkurangnya proses denitrifikasi.



Gambar 4.7. *Boxplot* Konsentrasi Mangan Setiap Tahun Pengamatan

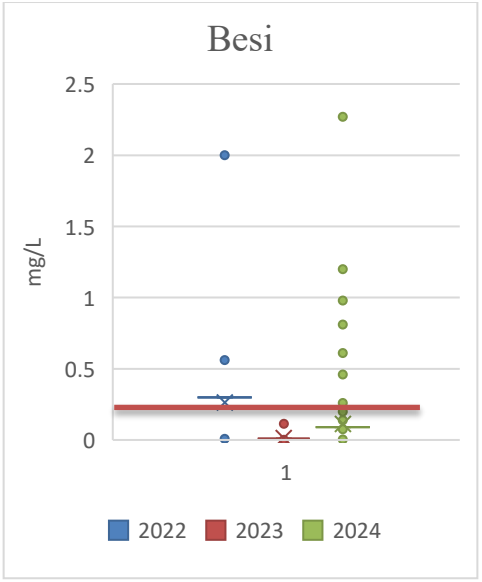
Pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 baku mutu kualitas air tanah parameter mangan yaitu 0,1 mg/L. Pada tahun 2022 boxplot menunjukan sebaran yang masih terkendali namun mulai menunjukan gejala pencemaran. Nilai median berada pada nilai 0,009 mg/L, yang masih tergolong rendah dan dalam batas baku mutu. Namun terlihat beberapa outlier signifikan, dengan nilai mencapai 0,463 mg/L, menunjukan adanya lokasi tersebut yang berada di Kecamatan Tegalrejo dengan kontaminan mangan yang jauh di atas rata-rata. Hal ini dapat disebabkan oleh kontaminasi lokal akibat pelapukan batu atau limbah industri.

Pada tahun 2023, nilai median mangan turun secara signifikan, berada hampir menyentuh 0,002 mg/L.terdapat lonjakan jumlah outlier yang sangat banyak, dengan beberapa mencapai 0,853 mg/L pada Kecamatan Danurejan., sebagian besar lokasi bersih, namun beberapa titik mengalami pencamaran mangan berat. Peningkatan jumlah outlier ini menunjukan adanya masalah lokal yang serius, yang tidak tercermin dari nilai median.

Distribusi pada tahun 2024 memperlihatkan kenaikan secara umum, baik dari segi nilai pusat maupun sebarannya. Median meningkat hingga 0,09 mg/L meningkat secara signifikan. Ini menunjukan bahwa konsentrasi mangan meningkat di sebagian besar titik pengamatan. Outlier kembali ditemukan dalam jumlah besar, bahkan lebih tinggi dibandingkan tahun-tahun sebelumnya, dengan nilai maksimum 1,1 mg/L Kecamatan Ngampilan. pada tahun 2024 ada beberapa

kecamatan yang nilai rata-rata jumlah sampling nya melebihi baku mutu seperti Kecamatan Gondomanan dengan rata-rata 0,113 mg/L, Kecamatan Kraton dengan rata-rata 0,113 mg/L, Kecamatan Mergangsan dengan rata-rata 0,135 mg/L, Kecamatan Tegalrejo dengan rata-rata 0,133 mg/L, Kecamatan Umbulharjo dengan rata-rata 0,1518 mg/L.

Perbandingan antar ketiga tahun menunjukan bahwa terjadi fluktuasi distribusi mangan yang signifikan. Tahun 2022 dan 2023 didominasi oleh nilai-nilai rendah dengan beberapa outlier tinggi, sedangkan tahun 2024 menunjukan kenaikan nilai median dan peningkatan distribusi umum, bukan hanya outlier yang mengindikasikan kontaminasi mangan yang lebih merata.



Gambar 4.8. *Boxplot* Konsentrasi Besi Setiap Tahun Pengamatan

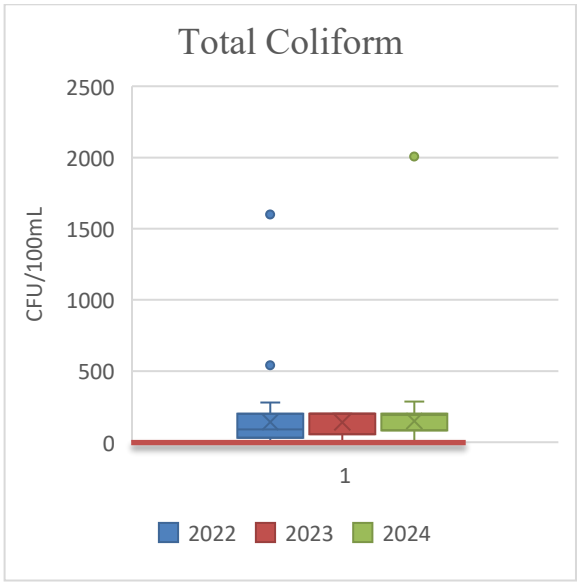
Pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 baku mutu kualitas air tanah parameter besi yaitu 0,2 mg/L. Pada tahun 2022. Nilai median berada pada angka 0,3 mg/L. Teridentifikasi outlier ekstrem yang mencapai lebih dari 0,2 mg/L yaitu pada angka 0,56 mg/L pada Kecamatan Mantrrijeron dan 2 mg/L pada Kecamatan Wirobrajan.

Pada tahun 2023 menunjukan penurunan signifikan dalam median dan sebaran konsentrasi besi. Nilai median hampir mendekati nol yaitu 0,009 mg/L.. Namun demikian, masih ditemukan sejumlah outlier, meskipun nilai maksimumnya jauh lebih rendah dibandingkan tahun 2022 yaitu 0,167 mg/L. Hal

ini menunjukan bahwa sebagian besar titik pengamatan menunjukankualitas air yang relatif baik dalam hal kandungan besi, dengan hanya sedikit lokasi yang menunjukankonsentrasi tinggi.

Distribusi pada tahun 2024 kembali menunjukan adanya peningkatan konsentrasi besi, baik dari segi nilai maksimum maupun jumlah outlier. Meskipun nilai median tetap rendah, hampir sama dengan tahun 2023 yaitu 0,09 mg/L, terlihat peningkatan ekstrem pada outlier, dengan nilai tertinggi yaitu 2,27 mg/L pada Kecamatan Tegalrejo, bahkan melebihi outlier pada tahun 2022. Kondisi ini mengindikasikan kembali munculnya titik-titik pencemar yang berat, meskipun secara keseluruhan sebagian besar lokasi masih memiliki kadar besi rendah.

Perbandingan antar tahun menunjukan adanya fluktuasi dalam konsentrasi besi, dengan kondisi relatif baik pada tahun 2023, namun memburuk kembali pada tahun 2024 dalam bentuk outlier ekstrem. Sumber pencemar dapat berasal dari korosi pipa, limbah industri, atau proses geologis lokal seperti pelapukan batuan yang mengandung besi.



Gambar 4.9. *Boxplot* Konsentrasi *Total Coliform* Setiap Tahun Pengamatan

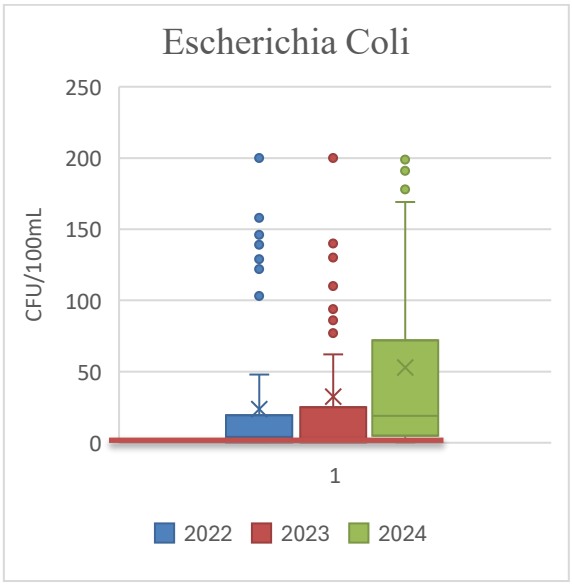
Pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 parameter *Total Coliform* yang diperbolehkan adalah 0 CFU/100 ml. Pada tahun 2022, namun secara umum terkonsentrasi pada nilai rendah hingga sedang. Nilai median berada pada angka 89 CFU/100ml, menandakan sebagian besar data terpusat. Meskipun demikian,

teridentifikasi outlier yang ekstrem dengan nilai mencapai 1600 CFU/100mL, yang menunjukan pencemaran mikrobiologis berat di beberapa titik pengamatan termasuk pada Kecamatan Mergangsan. *Total Coliform* merata pada seluruh kecamatn yang berada di Kota Yogyakarta.

Pada tahun 2023. Median nilai *Total Coliform* meningkat yaitu 200 CFU/100mL, tidak terdapat outlier ekstrem pada tahun ini, namun distribusi data yang melebar menunjukan adanya ketidakteraturan distribusi coliform. Ini mencerminkan variabilitas spasial yang tinggi antar lokasi pengambilan sampel. *Total Coliform* merata pada seluruh kecamatn yang berada di Kota Yogyakarta.

Distribusi pada tahun 2024 menunjukan perubahan drastis, terutama dari segi nilai maksimum 2008 CFU/100mL pada Kecamatan Kotagede, meskipun nilai median turun 191,5 CFU/100mL, terdapat outlier ekstrem, yag lebih tinggi dari nilai tahun-tahun sebelumnya. Hal ini mengindikasikan adanya lokasi dengan pencemaran yang sangat tinggi, yang perlu mendapatkan perhatian khusus., namun adanya satu outlier yang sangat tinggi menyebabkan lonjakan besar dalam grafik.

Dari distribusi data *total coliform* tiga tahun, dapat menunjukan bahwa kualitas mikrobiologis air mengalami fluktuasi. Meskipun sebagian besar data berada dalam kategori sedang, keberadaan outlier ekstrem pada tahun 2022 dan 2024 menjadi perhatian serius, karena mengindikasikan titik pencemaran yang akut dan sangat tidak layak konsumsi. Median *total coliform* cenderung konstan, dengan fluktuasi kecil. Tahun 2023 memiliki penyebaran data paling lebar, mencerminkan distribusi pencemaran yang lebih merata namun beragam. Tahun 2022 dan 2024 menunjukan keberadaan outlier ekstrem, yang mengarah pada kemungkinan pencemaran berat. Keberadaan bakteri coliform dalam air menunjukan adanya kontaminasi bahan organik atau limbah fecal, sehingga air dengan kandungan ini sangat tidak aman untuk dikonsumsi tanpa proses desinfeksi atau pengolahan lebih lanjut.



Gambar 4.10. *Boxplot* Konsentrasi *Escherichia Coli* Setiap Tahun Pengamatan

Pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 parameter *Escherichia coli* yang diperbolehkan adalah 0 CFU/100 ml. Tahun 2022, data menunjukan konsentrasi fecal coli yang merupakan bakteri pencemar di dalam air yang berasal dari feses, dan *Escherichia coli* adalah bakteri yang termasuk fecal coli namun lebih spesifik hanya ada 1 spesies yaitu *Escherichia.fecal coli* merupakan koliform yang menggunakan media fermentasi laktosa EC dengan produksi gas dalam waktu 48 jam pada suhu 45,5 derajat. *E.coli* biasanya menyusun 75-95% dari jumlah koliform feses (Hilderbrand, 2007). Nilai median berada pada angka 4 CFU/100 ml, yang menunjukan kontaminasi ringan hingga sedang. tidak terdapat banyak outlier, termasuk outlier ekstrem hingga 200 CFU/100mL pada Kecamatan Umbulharjo dan Kecamatan Kraton. IQR menunjukan bahwa sebagian besar sampel memiliki nilai yang relatif seragam, namun kehadiran titik ekstrem menandakan pencemaran serius pada lokasi tertentu yaitu 0-19,2 CFU/100mL.

Distribusi pada tahun 2023 memiliki kesamaan pada tahun 2022, namun terdapat beberapa perbedaan penting. Median berada pada angka 2 CFU/100mL, sedikit lebih tinggi daripada tahun sebelumnya. Jumlah outlier semakin banyak, menunjukkan peningkatan variabilitas antar titik pengambilan sampel. Terdapat outlier tinggi mencapai 200 CFU/100mL, yang menandakan pencemaran berat masih terjadi di beberapa lokasi yaitu pada Kecamatan Gondokusuman,

Kecamatan Gedongtengen, Kecamatan Jetis, Kecamatan Mergangsan, Kecamatan Pakualaman, Kecamatan Tegalrejo, Kecamatan Umbulharjo, dan Kecamatan Wirobrajan.

Pada tahun 2024 menunjukan peningkatan signifikan dalam nilai *E.coli.* Median menigkat drastis, berada pada angka 19 CFU/100mL, menandakan peningkatan umum tingkat kontaminasi mikrobiologis. Sebaran data semakin luas, serta outlier tetap muncul hingga 200 CFU/100mL pada Kecamatan Gondokusuman, Kecamatan Danurejan, Kecamatan Gondomanan, Kecamatan Jetis, Kecamatan Kotagede, Kecamatan Kraton, Kecamatan Mergangsan, Kecamatan Pakualaman, Kecamatan Tegalrejo, Kecamatan Wirobrajan. Hal ini menunjukan bahwa tidak hanya ada beberapa lokasi dengan pencemaran tinggi, namun kondisi umum sebagian besar titik pengamatan juga memburuk.

Hasil boxplot selama tiga tahun menunjukkan bahwa kualitas mikrobiologis air mengalami penurunan dengan median nilai *E.coli* meningkat dari tahun ke tahun. Jumlah dan tingkat ekstremitas outlier tetap tinggi dan variabilitas antar lokasi semakin besar, terutama pada tahun 2024. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pengelolaan sanitasi lingkungan dan sumber air belum optimal, bahkan cenderung memburuk. Potensi paparan penyakit bawaan air (waterborne diseases) meningkat apabila *E. coli* terus ditemukan dalam konsentrasi tinggi.

4.2 Analisis Statistik Parameter Mikrobiologi

Pada subbab 4.1 dinyatakan bahwa tren dari *total coliform* dan *Escherichia coli* kian meningkat dari tahun ke tahun untuk menentukan signifikansi perbedaan rata-rata konsentrasi parameter mikrobiologi antar tahun pengamatan (2022, 2023, dan 2024). Dilakukan uji normalitas chi-square kepada dua parameter mikrobiologis. Uji asumsi dilakukan untuk melihat data sampel berdistribusi normal atau tidak menggunakan software excel. Dapat disimpulkan bahwa *total coliform* pada tahun pengamatan berdistribusi normal. Dilakukan uji asumsi untuk melihat apakah data sampel berdistribusi normal atau tidak. Dapat disimpulkan bahwa *E.coli* pada tahun pengamatan berdistribusi normal (Lampiran 4)

Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan uji chi-square. Nilai chi-square hitung yaitu 0 dan berada di bawah nilai tabel tersebut, sehingga memenuhi kriteria $x^2_{hitung} < x^2_{tabel.}$ Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) diterima dan hipotesis alternatif (H_a) ditolak, yang berarti bahwa data konsentrasi parameter Total Coliform dan *Escherichia coli* tahun 2022, 2023, dan 2024 berdistribusi normal. Hal ini menunjukan bahwa data layak untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan uji parametrik Anova Two way dalam menguji perbedaan signifikansi rata-rata per tahun.

Tabel 4.1. Analisis Anova Dua Arah

ANOVA: Two-Factor With Replication

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Parameter Mikrobiologi	1881040	1	1881040	254.0091	1.98E-54	3.845346
Tahun	2979591	2	1489796	201.1768	1.74E-81	2.999484
Interaction	508371.4	2	254185.7	34.32435	2E-15	2.999484
Within	17728541	2394	7405.406			
Total	23097544	2399				

Terdapat perbedaan signifikansi rata-rata total coliform dan *E.coli* pada setiap tahun nya. Hasil ANOVA dua arah menunjukan bahwa faktor mikrobiologis (Total Coliform dan *Escherichia coli*) maupun faktor tahun pengamatan (2022, 2023, dan 2024) secara signifikan mempengaruhi nilai rata-rata parameter yang diamati. Hal ini ditunjukan oleh nilai F hitung untuk faktor sample sebesar 254,0091 dengan p-value = $1{,}98 \times 10^{-54}$, yang jauh lebih kecil dari taraf signifikansi 0,005 dan juga melebihi nilai F kritis = 3,8453. Demikian pula, faktor tahun memiliki F hitung = 201,1768 dengan p-value = $1{,}74 \times 10^{-81}$, serta nilai Finteraksi antara parameter mikrobiologis dan tahun sebesar 34,32435 dengan p-value = 2×10^{-15}

Hal ini menunjukan hasil yang sangat signifikan secara statistik. Dengan demikian bahwa mikroorganisme Total Coliform dan *Escherichia coli* maupun tahun pengamatan berpengaruh nyata terhadap perubahan nilai rata-rata, dan terdapat interaksi yang signifikan antara keduanya. Penelitian ini mengindikasikan

bahwa tren temporal maupun konsentrasi mikroorganisme secara bersama-sama mempengaruhi dinamika fluktuasi kualitas air di wilayah studi.

Menurut (Dinas Kesehatan, 2023) Pada tahun 2022 kasus diare sebanyak 5.908 kasus dan meningkat pada tahun 2023 sebanyak 8.073 kasus. Hasil menunjukan bahwa jumlah kasus diare setiap tahunnya yang berjalan seiring dengan meningkatnya konsentrasi rata rata per tahun bakteri *E.coli* dan total coliform. Fenomena ini menunjukan adanya keterkaitan yang kuat antara kualitas mikrobiologis air dan kejadian penyakit yang ditularkan melalui air, seperti diare. Total coliform dan *E.coli* merupakan indikator utama pencemaran fekal dalam air. Meningkatnya jumlah kedua bakteri ini setiap tahun mengindikasikan adanya penurunan kualitas air tanah dan sanitasi yang kurang optimal.

Penelitian terdahulu mengatakan bahwa laju pertumbuhan *E.coli* dengan menggunakan ANOVA secara signifikan yang paling besar dipengaruhi oleh pH dengan ($\eta 2$ = 59,5–89,0%) ($p < 0,005$). Analisis ini diperkuat oleh analisis regresi linear berganda yang menunjukan bahwa tingkat perubahan populasi terendah pada pH 4 dan tingkat perubahan populasi tertinggi pada pH 6. Pada penelitian ini merujuk ke lingkungan perairan eutrofik yang membuat pH meningkat akibat pertumbuhan alga dan fotositesis dapat membuat *E.coli* menjadi tidak aktif. (Ichiro et.al, 2024)

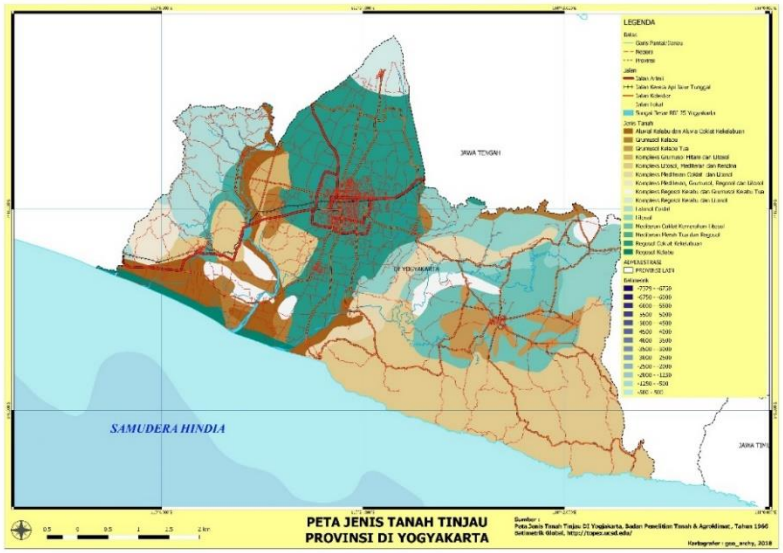
4.3 Persebaran *Total Coliform* dan *Escherichia coli* Secara Spasial

Untuk menentukan hubungan faktor lingkungan dengan distribusi kontaminasi air tanah secara spasial dibutuhkan pemetaan dan *overlay* dalam studi ini bertujuan untuk memetakan kondisi air tanah dan sebaran pencemaran sehingga dapat diketahui zona tercemar ringan, tercemar sedang dan tercemar berat. Sumber peta yang digunakan untuk pemetaan dan *overlay* didapat dari portal web GeoPortal DIY. Kemudian diolah dengan menggunakan software QGIS. Pemetaan ini untuk mengetahui kondisi *aquifer* yang berstatus teremar. Analisis korelasi antara parameter fisika dan kimia dengan parameter mikrobiologi yaitu untuk mengetahui wilayah yang mempunyai resiko tercemar yang disebabkan oleh parameter fisika dan kimia.

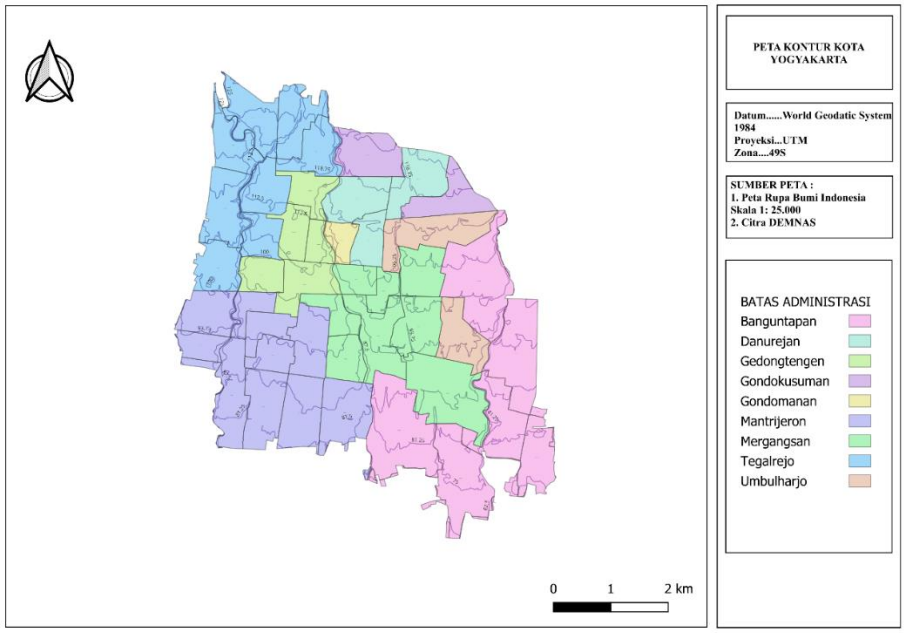
4.3.1 Analisis Faktor Lingkungan Terhadap Kualitas Air Tanah

Analisis kerentanan kualitas air tanah terdapat faktor yang berpengaruh pada persebaran pencemaran, yaitu faktor geologi. Berdasarkan perlakuan terhadap air tanah sifat fisik tekstur batuan dapat mengandung air serta meloloskan air. Formasi batuan tersebut dapat berupa pasir, kerikil, batupasir, batu gamping yang berlubang dan lava yang retak yang disebut aquifer. Suatu formasi geologi dapat menjadi perisai alami untuk melindungi badan air tanah dari kontaminan yang tidak di inginkan.

Pada Kota Yogyakarta mempuyai jenis Batuan Gunungapi tak terpisahkan. Umumnya batuan api (vulkanik) merupakan batuan beku ekstrusif yang berasal dari letusan gunung api yang terdapat di Yogyakarta adalah Gunung Merapi (Gambar 4.11). Batuan hasil letusan adalah andesit, basalt, dacit, riolite, tuf vulkanik. Batuan yang mengalami pelapukan dapat menjadi tanah. Dalam pemrosesan sebagai tanah juga dapat dipengaruhi oleh komposisi mineral, iklim, dan waktu. Batuan gunung api memiliki jenis tanah regosol, latosol, dan grumusol. Kota Yogyakarta mengandung tanah regosol atau tanah vulkanis muda sebanyak 27,09% (BPS Kota Yogyakarta, 2025). Tanah regosol mempunyai tekstur tanah kasar atau dengan kandungan pasir tinggi, yang membuat tanah ini mempunyai porositas sedang (58,92% volume) dengan tingkat kesuburan yang rendah dan miskin bahan organik, sehingga kemampuan untuk menyimpan air dan unsur hara sangat rendah, sedangkan keberadaan sifat organik membantu mengimbangi beberapa sifat fisik (Puttinella, 2014). Porositas berkaitan dengan nilai permeabilitas air tanah menuju aquifer.



Gambar 4.11. Peta Jenis Tanah Kota Yogyakarta



Gambar 4.12. Peta Kontur Kota Yogyakarta

Berdasarkan kontur topografi (Gambar 4.12), wilayah Kota Yogyakarta terletak di dataran vulkanik bagian selatan Gunung Merapi dan memiliki kemiringan lahan yang menurun dari utara ke selatan. Titik tertinggi di Kota Yogyakarta berada di bagian utara terutama di Kecamatan Tegalrejo, Jetis dan sebagian di Kecamatan Gondokusuman, daerah ini berada pada kisaran 100-150 meter diatas permukaan laut. Sedangkan dibagian selatan Kota Yogyakarta seperti Kecamatan Umbulharjo dan Kotagede berada di elevasi yang lebih rendah,

dengan kisaran 50-75 meter diatas permukaan laut. Topografi yang menurun ke arah selatan ini membentuk pola aliran air permukaan dan bawah permukaan yang mengarah ke selatan, mengikuti prinsip gravitasi.

Kontur sangat mempengaruhi pola aliran tanah, distribusi air tanah, dan kerentanan air tanah terhadap pencemaran. Pada daerah dengan kontur tinggi, air cenderung cepat mengalir kebawah, sebagai limpasan permukaan maupun infiltrasi ke dalam tanah. Air yang menginfiltrasi akan bergerak menuju aquifer melewati pori tanah, dan pada wilayah yang lebih rendah, air dapat muncul kembali sebagai air tanah dangkal. Faktor litologi juga dapat membuatnya rentan terhadap pencemaran, karena kontaminan dari permukaan bisa lebih mudah masuk dan menyebar ke dalam lapisan air tanah.

Sebagian besar masyarakat Kota Yogyakarta yang menggunakan sumur gali untuk sumber air yang digunakan sebagai kebutuhan primer nya. Menurut SNI 03-238-2002 Tata Cara Perencanaan Tangki Septik dengan Sistem Resapan yaitu tangki septik konvensional harus berjarak minimal 10 meter dari sumur air bersih. Berdasarkan persentasi jarak dari sumber air minum ke penampungan limbah tinja terdekat di Kota Yogyakarta kecenderungan lebih baik yaitu pada tahun 2022 sebanyak 43,94% masyarakat mempunyai jarak penampungan <10m, dan menurun pada tahun 2023 menjadi 41,09%. Persentasi jarak penampungan >10 m pada tahun 2022 yaitu 47,14% dan meningkat pada tahun 2023 menjadi 51,76%. Ini menunjukkan mengalami perbaikan dari tahun sebelumnya.

Sanitasi merupakan faktor krusial terhadap sumber dari kontaminan mikrobiologis, berdasarkan persentasi fasilitas tempat buang air besar di Kota Yogyakarta pada tahun 2022 hingga 2023 terjadi penurunan penggunaan jamban sendiri dari 74,2% menjadi 68,44%, pergeseran penggunaan jamban pribadi dialihkan ke jamban bersama yang meningkat dari 18,65% menjadi 26,9%, sedangkan penggunaan MCK Komunal menurun dari 6,71% menjadi 4,61%. Meskipun mayoritas pergeseran fasilitas buang air besar masih terkonsentrasi pada penggunaan jamban bersama, terdapat sebagian kecil rumah tangga yang justru beralih ke pembuangan tinja yang tidak layak.

Hal ini ditunjukkan pada persentasi tempat pembuangan akhir tinja tahun 2022 – 2023 di Kota Yogyakarta di mana proporsi rumah tangga membuang tinja

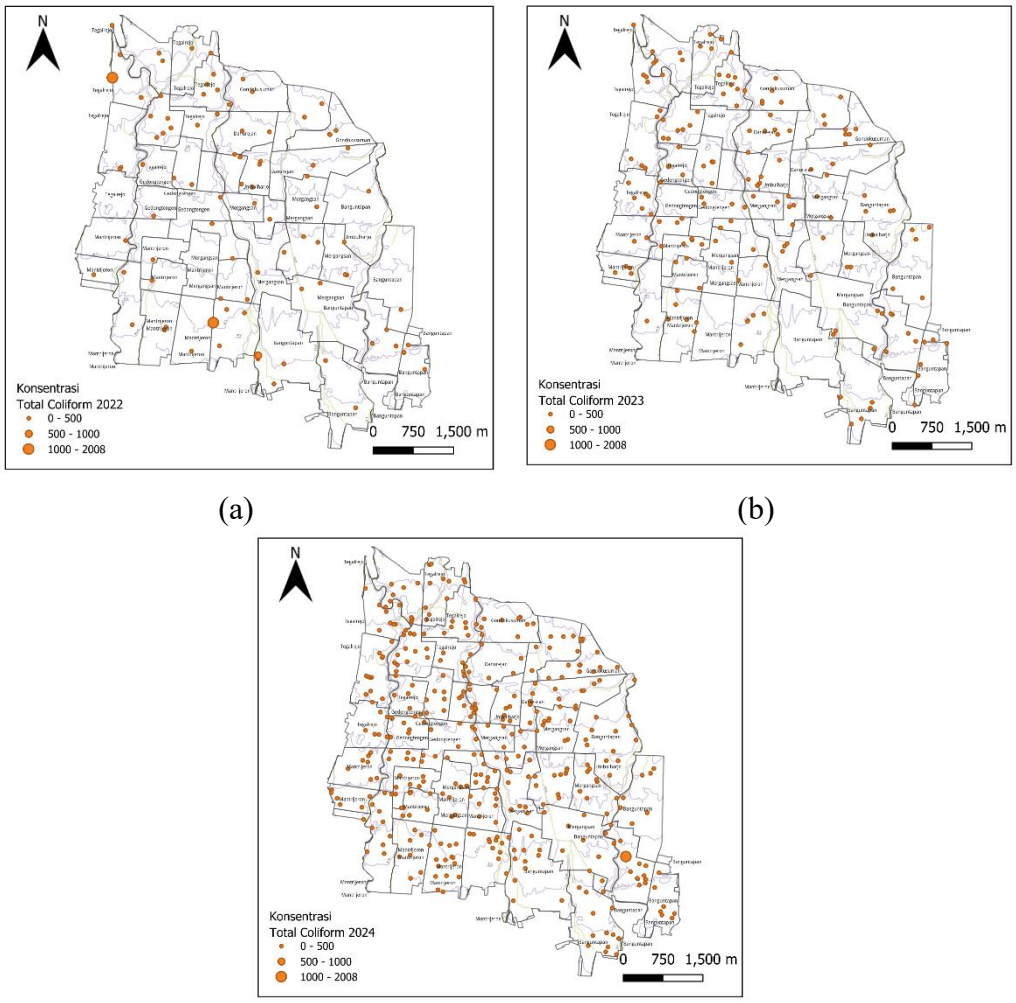
nya ke kolam/sawah/sungai/danau/lainnya meningkat dari 0% menjadi 1,3%. Sementara itu penggunaan tanki septic sebagai pembuangan akhir tinja masih mendominasi, meskipun mengalami penurunan dari 68,74% menjadi 56,39%. Sebagian penurunan tersebut di alihkan ke SPAL yang naik dari 31,26% menjadi 42,31%, namun sebagian lainnya justru beralih ke badan air. Peningkatan praktik pembuangan tinja sembarangan tidak terlepas dari kombinasi penurunan penggunaan jamban sendiri, penurunan fasilitas komunal, serta penurunan penggunaan tanki septic yang tidak sepenuhnya dialihkan ke SPAL. (Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta, 2024)

Kepadatan penduduk Kota Yogyakarta berdasarkan buku dalam angka (Badan Pusat Statistik, 2024). Kota Yogyakarta pada tahun 2022 dengan luas wilayah 32,50 km^2 yaitu 11,659 jiwa/ km^2. Dan mengalami penurunan tahun 2023 menjadi 11,447 jiwa/ km^2, lalu meningkat pada tahun 2024 menjadi 12,664 jiwa/ km^2. Dengan kecamatan terpadat di Kecamatan Ngampilan sebesar 18,946 jiwa/ km^2, dan terenggang sebesar 8,495 jiwa/ km^2. Pada studi (Laurie et. al, 2020) Bahwa limpasan permukaan mengangkut patogen mikrobiologi kedalam air tanah, pada wilayah tangkapan banjir ditemukan bahwa 89% dari konsentrasi *E.coli* di sungai berasal dari aliran hujan terhadap total debit sungai hanya 41%. .Faktor hidrogeologi mempengaruhi distribusi kontaminan. Berdasarkan buku Statistik Lingkungan Hidup DIY 2023/2024 jumlah curah hujan pada tahun 2022 adalah 3.161,2 mm, dan tahun 2023 adalah 1.955,0 mm (BPS Provinsi D.I Yogyakarta, 2024) Wilayah yang rendah dan berada di hilir sistem aliran seperti pada Kecamatan Umbulharjo dan Kotagede cenderung menjadi tempat akumulasi aliran air tanah dari wilayah yang lebih tinggi. Gravitasi membawa kontaminan dari hulu Kota Yogyakarta ke hilir Kota Yogyakarta.

4.3.2 Persebaran Pathogen Mikrobiologi Di Kota Yogyakarta

Berdasarkan nilai konsentrasi mikroorganisme Total Coliform dan *Escherichia coli* pada setiap tahun pengamatan, diplotting titik sampling di titik koordinat yang mengacu pada data sekunder milik DLH Kota Yogyakarta. Penggunaan kelas pada simbol pengamatan menyesuaikan nilai konsentrasi terkecil dan terbesar. Kelas dibagi menjadi 3 yaitu tercemar ringan, tercemar

sedang, dan tercemar berat . Dari plotting tersebut dapat diketahui pola persebaran mikroorganisme. Lalu di *overlay* peta penggunaan lahan Kota Yogyakarta dan nilai konsentrasi di setiap titik sampling. Dari peta *overlay* tersebut dapat diketahui letak konsentrasi terbesar dan terkecil mikroorganisme pada jenis penggunaan lahan. Lalu dianalisis wilayah kumuh yang berada di Kota Yogyakarta, kawasan kumuh di Kota Yogyakarta, dan kepadatan penduduk.



(a) (b)

(c)

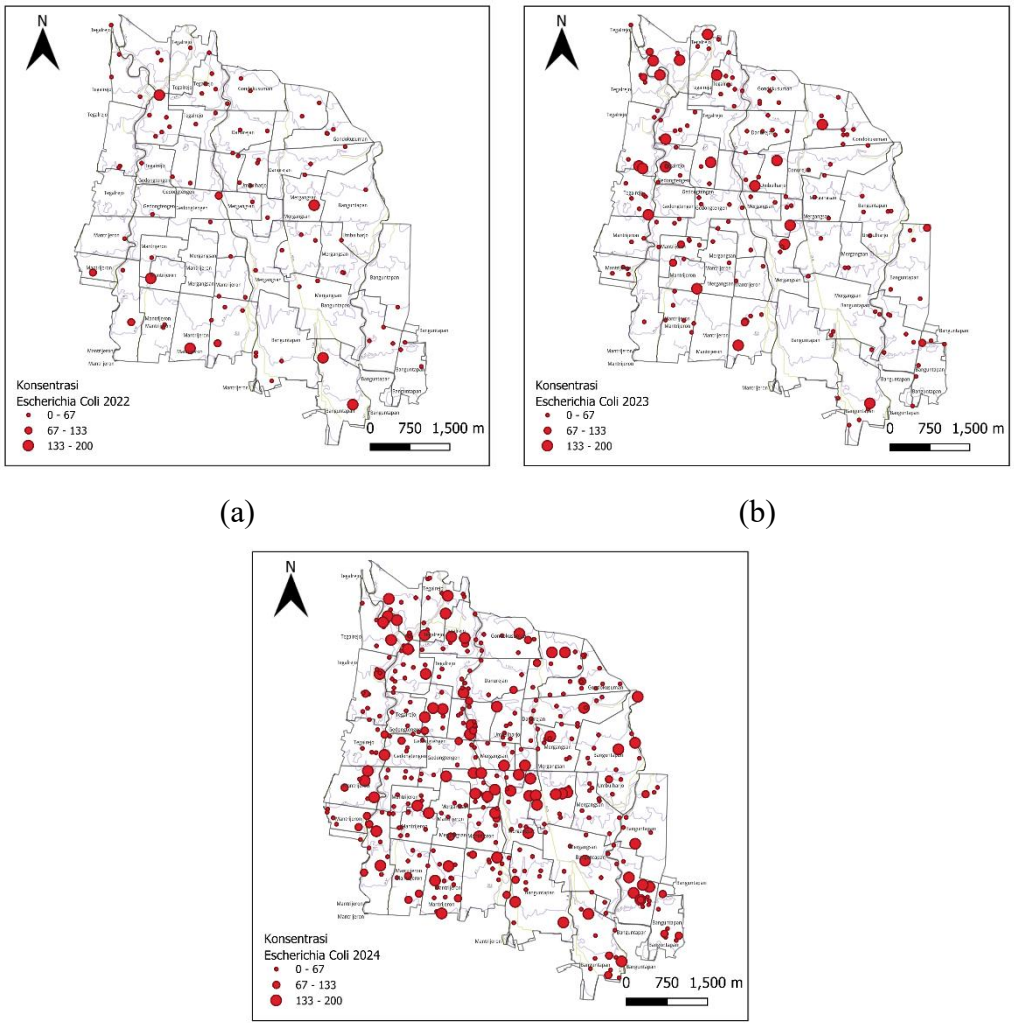
Gambar 4.13. Peta Persebaran Konsentrasi Total Coliform Kota Yogyakarta Tiap Tahun Pengamatan (a) Tahun 2022 (b) Tahun 2023 (c) Tahun 2024

Persebaran *total coliform* pada gambar 4.14 tahun 2022 terlihat bahwa konsentrasi dapat diklasifikasikan dengan ukuran simbol yang proporsional. Pemberian ukuran simbol dalam setiap konstrasi dimaksudkan supaya mempermudah dalam pembacaan nilai konsentrasi dan pola persebaran

konsentrasi. Simbol yang menunjukan ukuran besar memiliki konsentrasi bakteri total coliform yang paling tinggi. Susunan ukuran simbol dari konsentrasi paling tinggi ditunjukan dengan simbol yang lebih besar, sebaliknya jika konsentrasi rendah ditunjukan dengan simbol yang lebih kecil.

Dilihat dari gambar 4.13 pada ketiga tahun dari tahun 2022 hingga 2024 pola persebaran Total Coliform merata pada seluruh Kota Yogyakarta. Pada tahun 2022 konsentrasi tertinggi ada pada bagian utara Kota Yogyakarta di Kecamatan Tegalrejo dan Kecamatan Mergangsan dengan konsentrasi kelas 500-1000. Konsentrasi menyebar pada rentang 0-500 di bagian utara menuju selatan barat, namun pada bagian timur menuju selatan konsentrasi meyebar pada angka 200-300. Jika dihubungkan dengan kontur tanah konsentrasi total coliform menurun ke bawah wilayah barat, sedangkan di wilayah timur tidak terjadi pencemaran dengan konsentrasi tinggi. Pada tahun 2022 kecamatan tegalrejo dan mergangsan memiliki kepadatan penduduk sedang yaitu 12,034 jiwa/km^2 untuk kecamatan tegalrejo dan kecamatan mergangsan 12,585 jiwa/km^2.

Di tahun 2023 lokasi sampling semakin banyak dan menyebar namun tidak terjadi lonjakan konsentrasi dan hanya menyebar dengan rentang konsentrasi 200-300. Pola menyebar pada setiap wilayah Kota Yogyakarta. Pada tahun 2024 pun semakin banyak dilakukan sampling disetiap wilayah. Terjadi lonjakan konsentrasi kelas 1000-2008 pada Kecamatan Kotagede pada wilayah selatan Kota Yogyakarta. Dilakukan sampling di sempadan sungai dan hasil konsentrasi pada kelas 100-200. Ini membuktikan setiap tahun terjadi penyebaran total coliform secara merata. Pada tahun 2022 kecamatan kotagede memiliki kepadatan penduduk sedang yaitu 11,230 jiwa/km^2



(a) (b)

(c)

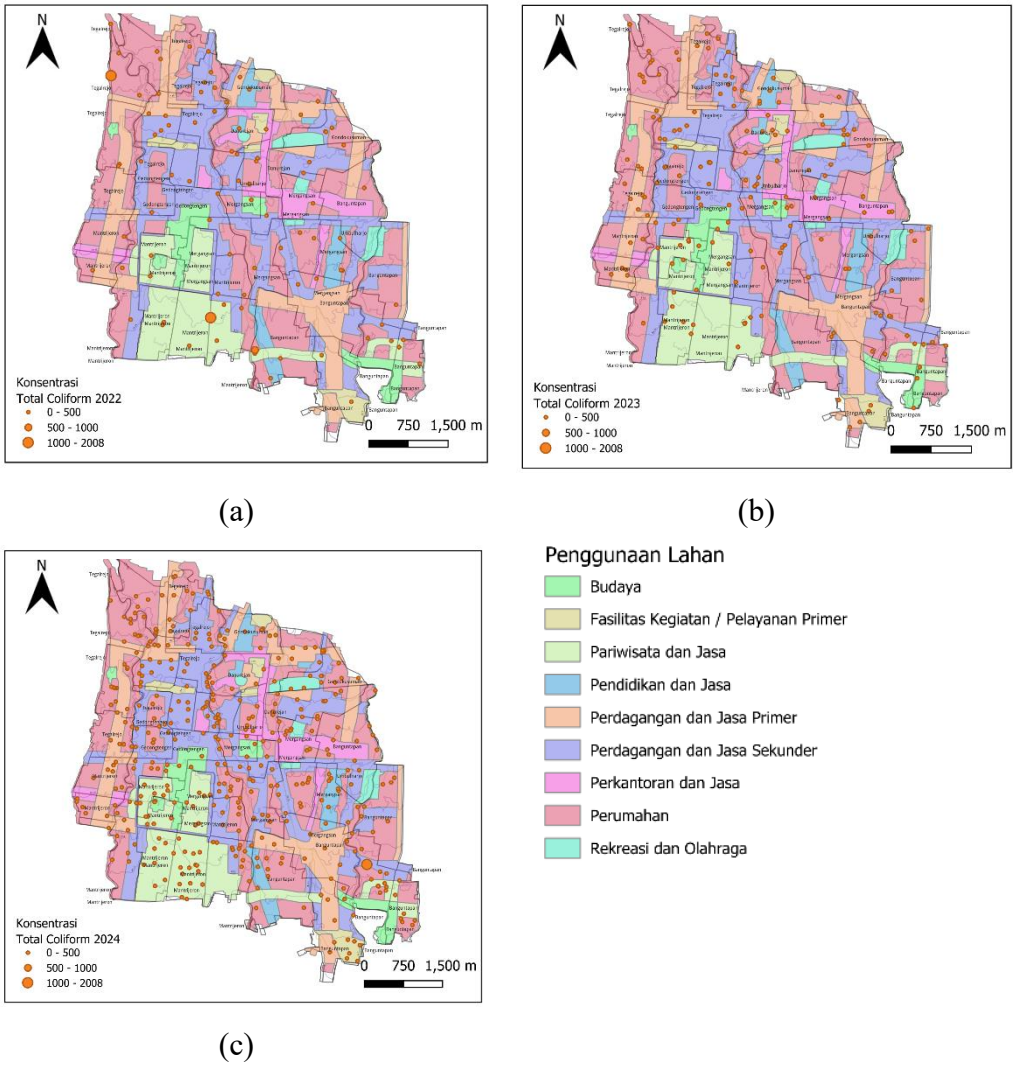
Gambar 4.14. Peta Persebaran Konsentrasi *Escherichia coli* Kota Yogyakarta Tiap Tahun Pengamatan (a) Tahun 2022 (b) Tahun 2023 (c) Tahun 2024

Pola persebaran *Escherichia coli* per tahun gambar 4.14. menunjukan tren peningkatan titik sampling dan peningkatan konsentrasi. Pada tahun 2022 pola sebaran sudah menyebar namun masih terbatas titik sampling nya, secara konsentrasi sebagian besar berada dalam rentang 0-67 CFU/mL dan hanya hanya beberapa titik menunjukan konsentrasi tinggi 133-200 CFU/mL terutama di wilayah selatan dan barat daya Kecamatan Tegalrejo dan Kecamatan Umbulharjo. Namun pada tahun 2023, titik sampling meningkat secara signifikan dan distribusinya menjadi merata seluruh wilayah, termasuk bagian utara dan tengah

yang sebelumnya minim sebaran. Konsentrasi tinggi mulai banyak ditemukan di wilayah yang lebih padat penduduk dan dekat aliran sungai.

Peningkatan terjadi pada tahun 2024 di mana hampir seluruh wilayah terkontaminasi *Escherichia coli* dengan kepadatan titik yang sangat tinggi dan didominasi dalam kategori tercemar menengah hingga tinggi.

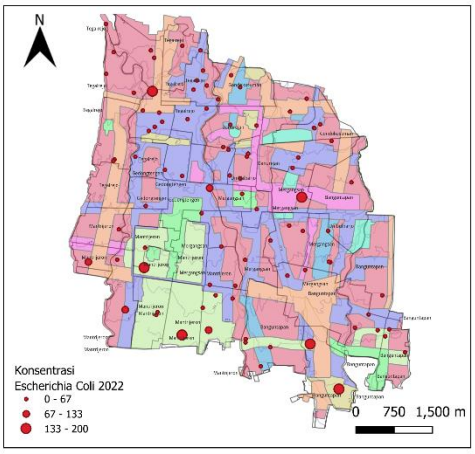
4.3.3 Hubungan Penggunaan Lahan Dengan Parameter Mikrobiologi



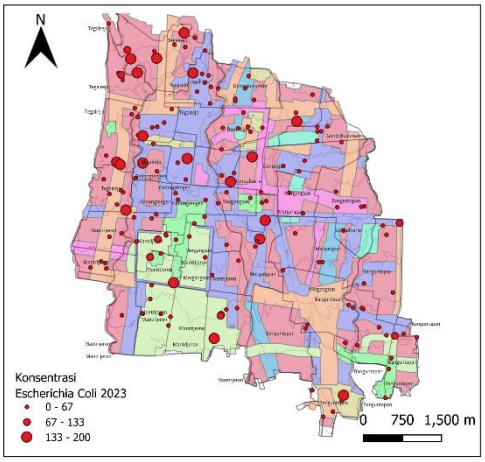
Gambar 4.15. Peta Persebaran Konsentrasi Total Coliform Berdasarkan Penggunaan Lahan Kota Yogyakarta Tiap Tahun Pengamatan (a) Tahun 2022 (b) Tahun 2023 (c) Tahun 2024

Peta penggunaan lahan diambil dari *website* geoportal.jogjakota.go.id dengan bulan publikasi April 2025. Jika dilihat dari penggunaan lahan konsentrasi

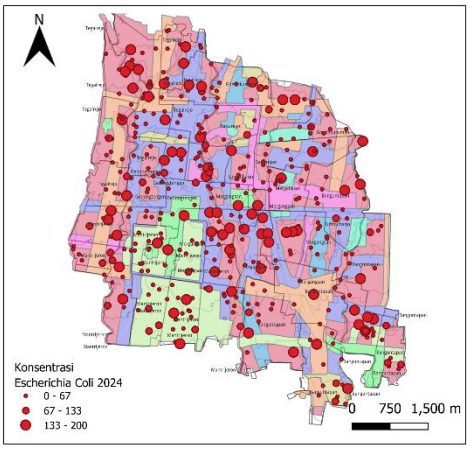
terbesar tahun 2022 berada di wilayah pemukiman serta wilayah lahan pariwisata dan jasa. Wilayah konsentrasi tinggi terdistribusi di kawasan dengan kepadatan penduduk dan aktivitas sosial ekonomi yang tinggi. 2023 menyebar ke seluruh penggunaan lahan yang menunjukan konsentrasi coliform menengah hingga tinggi. Aktivitas pariwisata pasca pandemi dapat menjadi faktor naik nya konsentrasi total coliform di wilayah pariwisata karena meningkatnya limbah domestik dari hotel dan penginapan. Pada tahun 2024 konsentrasi tinggi ada pada di wilayah lahan pendidikan dan jasa. Banyak nya aktivitas manusia dan kebocoran saptictank dapat menjadi faktor penyebaran total coliform di Kota Yogyakarta.



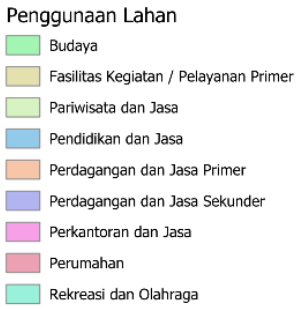
(a)



(b)



(c)

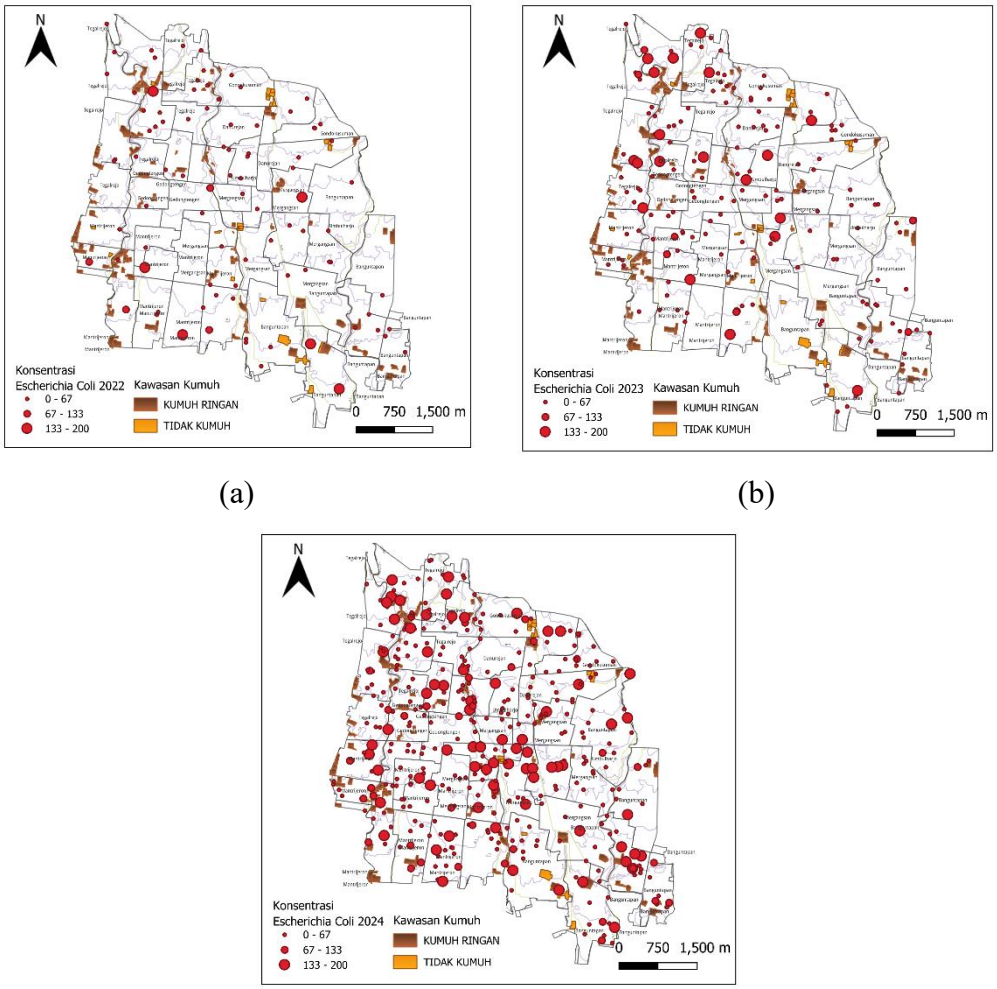


Gambar 4.16. Peta Persebaran Konsentrasi *Escherichia coli* Berdasarkan Penggunaan Lahan Kota Yogyakarta Tiap Tahun Pengamatan (a) Tahun 2022 (b) Tahun 2023 (c) Tahun 2024

Pola persebaran selama tiga tahun menunjukan ada hubungan yang signifikan terhadap penggunaan lahan. Titik konsentrasi yang tinggi 200-500 CFU/mL secara konsisten menyebar di kawasan pemukiman padat penduduk, perdagangan serta pendidikan dan jasa. Ketiga jenis lahan ini memiliki aktivitas antropogenik yang tinggi, seperti pembuangan limbah domestik, penggunaan septic tank yang tidak kedap, serta kepadatan penduduk yang tinggi berpotensi menjadi sumber utama kontaminasi mikrobiologis terhadap air tanah.

Tahun 2022 hingga 2024 kontaminasi menyebar ke berbagai zona penggunaan lahan lain nya, termasuk perdagangan dan jasa sekunder, serta ruang terbuka hijau. Hal ini menunjuan kontaminasi *E.coli* tidak hanya terbatas pada sumber lokal, namun juga dipengaruhi oleh pergerakan kontaminan melalui media tanah dan air bawah permukaan.

Analisis spasial menunjukan bahwa nilai total coliform cenderung tinggi pada lahan pemukiman padat, perdagangan dan jasa atau hotel dan industri kecil non formal, hal ini disebabkan tidak terkelola nya pembuangan limbah domestik ke saluran drainase tanpa adanya pengolahan. Sebaliknya seperti lahan terbuka hijau, dan kawasan hutan kota tidak menunjukan nilai total coliform yang tinggi, yang menunjukkan bahwa aktivitas manusia mempengaruhi konsentrasi pencemaran air tanah.



Gambar 4.17. Peta Persebaran Konsentrasi Total Coliform Kota Yogyakarta Berdasarkan Kawasan Kumuh Tiap Tahun Pengamatan (a) Tahun 2022 (b) Tahun 2023 (c) Tahun 2024

(Sumber : Data Primer DLH, 2022-2024, diolah menggunakan QGIS)

Pada kawasan pemukiman kumuh banyak sekali ditemukan konsentrasi *E.coli* yang tinggi pada kelas 100-200 CFU/mL. khususnya di area sempadan sungai dan lokasi kumuh ringan yang ditandai oleh warna cokelat tua. Lalu menyebar ke seluruh Kota Yogyakarta. Meskipun tidak tergolong dalam kategori kumuh berat, tetap memiliki kondisi infrastruktur sanitasi yang kurang memadai, seperti ketiadaan sistem pembuangan limbah rumah tangga yang layak, kepadatan bangunan, serta rendahnya akses terhadap fasilitas air bersih (PPN/Bappenas, 2020)

Dari penelitian sebelumnya, sumur yang berada di tepi sungai code Terdapat akumulasi pencemaran dari sumur di elevasi rendah ke elevasi tinggi di wilayah tepi sungai code. Sumur yang berjarak lebih dari 10 meter terhadap septictank konsentrasi *E.coli* (75-2400) MPN/100ml. Sumur dangkal juga dapat menunjukan *E.coli* tinggi (<5m) dengan konsentrasi (1100-2400). Ini menunjukan bahwa akumulasi pencemaran air tanah tidak hanya dipengaruhi elevasi namun juga kedalaman sumur. (Edy Sriyono, 2018)

Pemukiman kumuh ringan umumnya memiliki sistem sanitasi yang tidak memenuhi standar SNI. Seperti septic tank yang tidak kedap atau drainase yang terbuka yang membuat jalan masuk kontaminan menuju aquifer dalam tanah dari permukaan. Kontaminan juga dapat masuk kedalam sumur air tanah yang tidak mempunyai konstruksi sumur yang baik, sumur dengan dinding mampu mencegah *E.coli* masuk kedalam sumur (W Naily, 2023). Drainase yang terbuka memungkinkan terjadinya infiltrasi kontaminan ke dalam air tanah yang digunakan kembali oleh masyarakat untuk keperluan harian. Pola ini diperkuat oleh dominasi *E.coli* dengan ukuran besar di sekitar kumuh ringan terutama di wilayah-wilayah dengan kepadatan tinggi seperti Kecamatan Umbulharjo, mergangsan, dan sebagian wilayah Kotagede.

4.4. Evaluasi Kualitas Air Tanah

Parameter mikrobiologi yang telah dilakukan sampling oleh DLH kemudian dikategorikan sebagai zona tercemar ringan, tercemar sedang, dan tercemar berat. Selanjutnya dilakukan akumulasi dari titik sampling setiap penggunaan lahan berdasarkan zona tercemar. Hasil tabel pengelompokkan titik berdasarkan penggunaan lahan di dapatkan dengan cara menggunakan intersection pada QGIS.

Tabel 4.2. Rasio Pencemaran *Total Coliform* Tahun 2022 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi.

No.	Penggunaan Lahan	Jumlah Titik Sampling Zona Tercemar			Persentasi Rasio Berdasarkan Zona Tercemar		
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
1	Budaya	1			100%		

No.	Penggunaan Lahan	Jumlah Titik Sampling Zona Tercemar			Persentasi Rasio Berdasarkan Zona Tercemar		
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
2	Fasilitas Kegiatan / Pelayanan Primer	1		1	50%		50%
3	Pariwisata dan Jasa	11	1	3	73%	7%	20%
4	Pendidikan dan Jasa	5			100%		
5	Perdagangan dan Jasa Primer	6			100%		
6	Perdagangan dan Jasa Sekunder	29	2		94%	6%	
7	Perkantoran dan Jasa	1			100%		
8	Perumahan	26	1	2	90%	3%	7%

Tabel 4.3. Rasio Pencemaran *Escherichia coli* Tahun 2022 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi.

No.	Penggunaan Lahan	Jumlah Titik Sampling Zona Tercemar			Persentasi Rasio Berdasarkan Zona Tercemar		
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
1	Budaya	1			100%		
2	Fasilitas Kegiatan / Pelayanan Primer	1		1	50%		50%
3	Pariwisata dan Jasa	11	1	3	73%	7%	20%
4	Pendidikan dan Jasa	5			100%		
5	Perdagangan dan Jasa Primer	6			100%		
6	Perdagangan dan Jasa Sekunder	29	2		94%	6%	
7	Perkantoran dan Jasa	1			100%		
8	Perumahan	26	1	2	90%	3%	7%

Rasio pencemaran dari tabel 4.2 sampai tabel 4.7 , diperoleh melalui pengelompokkan zona tercemar ringan, sedang, dan berat berdasarkan rentang nilai terendah hingga tertinggi pada data sekunder yang diolah menggunakan QGIS menjadi tiga kelas. Selanjutnya, dilakukan perhitungan jumlah titik sampling pada masing-masing jenis penggunaan lahan, kemudian dibagi dengan total jumlah titik pada zona tercemar dari penggunaan lahan tersebut. Hasil pembagian tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase sehigga menggambarkan besarnya beban pencemar pada setiap kategori penggunaan lahan.

Pada tahun 2022 banyak dilakukan uji kualitas air Total Coliform di wilayah perdagangan dan jasa sekunder sebanyak 31 titik dan mayoritas berada di

zona tercemar ringan dan 2 titik tercemar sedang. Wilayah perumahan terdapat 2 titik yang tercemar berat dan 1 tercemar sedang, wilayah pariwisata dan jasa sebanyak 3 titik sampling tercemar berat dan 1 tercemar sedang. Jika dilihat dari proporsi tingkat pencemar lebih berat yaitu akumulasi dari zona tercemar sedang dan tercemar berat. Yaitu pada wilayah pariwisata dan jasa yaitu 26% dari total titik sampling pada wilayah tersebut tercemar sedang hingga berat. Wilayah perumahan berada pada posisi kedua yaitu sebesar 10% tercemar sedang hingga berat. Sedangkan pada patoghen *E.coli* proporsi pencemaran yang lebih tinggi juga terdapat di wilayah pariwisata dan jasa dengan 26% titik berada di zona tercemar sedang hingga tinggi, dengan rasio yang sama pada mikroorganisme Total Coliform. Menurut (Dinas Pariwisata, 2022) jumlah wisatawan yang datang dan menggunakan hotel bintang dan non bintang di DIY Tahun 2022 sebanyak 6.474.115 orang dan mengalami kenaikan 50,64% dari tahun 2021. Ini menunjukkan adanya kepadatan pengunjung pada tahun 2022. Hal ini berbanding lurus dengan kontaminan patogen yang meningkat, kepadatan aktivitas dan tingkat volume konsumsi air yang tinggi serta pembuangan limbah menjadi faktor yang dapat memperburuk kualitas air tanah.

Menurut wawancara pada penelitian (Relmbuss et.al, 2016) bahwa tidak semua WC mempunyai septic tank pada wilayah perumahan bantaran sungai code melainkan langsung mengalirkan dengan pipa limbah tinja langsung ke sungai code dan hampir terjadi setiap WC yang ada. Keterbatasan lahan membuat fasilitas sanitasi seperti IPAL dan septictank sulit dibuat, di Kelurahan Prawirodirjan memiliki 2 buah IPAL, Komunal namun masyarakat tidak bisa mengakses IPAL Komunal oleh pemilik lahan karena ketakutan apabila terjadi dampak kebocoran dan masalah kemiringan tanah.

Tabel 4.4. Rasio Pencemaran *Total Coliform* Tahun 2023 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi.

No.	Penggunaan Lahan	Jumlah Titik Sampling Zona Tercemar			Persentasi Rasio Berdasarkan Zona Tercemar		
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
1	Budaya	11			100%		
2	Fasilitas Kegiatan / Pelayanan Primer	3			100%		
3	Pariwisata dan Jasa	17			100%		
4	Pendidikan dan Jasa	6			100%		

No.	Penggunaan Lahan	Jumlah Titik Sampling Zona Tercemar			Persentasi Rasio Berdasarkan Zona Tercemar		
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
5	Perdagangan dan Jasa Primer	20			100%		
6	Perdagangan dan Jasa Sekunder	50			100%		
7	Perkantoran dan Jasa	7			100%		
8	Perumahan	49			100%		
9	Rekreasi dan olahraga	1			100%		

Tabel 4.5. Rasio Pencemaran *Escherichia coli* Tahun 2023 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi.

No.	Penggunaan Lahan	Jumlah Titik Sampling Zona Tercemar			Persentasi Rasio Berdasarkan Zona Tercemar		
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
1	Budaya	9	1	1	82%	9%	9%
2	Fasilitas Kegiatan / Pelayanan Primer		2	1		67%	33%
3	Pariwisata dan Jasa	12	4	1	71%	24%	6%
4	Pendidikan dan Jasa	6			100%		
5	Perdagangan dan Jasa Primer	16	1	3	80%	5%	15%
6	Perdagangan dan Jasa Sekunder	42		8	84%		16%
7	Perkantoran dan Jasa	7			100%		
8	Perumahan	42	2	5	86%	4%	10%
9	Rekreasi dan olahraga	1			100%		

Tahun 2023 pada mikroorganisme Total Coliform tidak ditemukan titik yang tergolong zona cemar sedang hingga berat, mayoritas berada pada zona cemar rendah namun terjadi merata di seluruh wilayah penggunaan lahan yang ada di Kota Yogyakarta. Penambahan titik sampling dilakukan diseluruh penggunaan lahan. titik terbanyak yaitu di wilayah perdagangan dan jasa sekunder sebanyak 50 titik tercemar rendah serta perumahan dengan 49 titik cemar rendah. Wilayah ini juga dapat menjadi faktor meningkatnya konsentrasi kontaminan mikrobiologis. Perdagangan dan jasa sekunder bisa di artikan sebagai wilayah dengan fasilitas komersial seperti mall, pasar modern, supermarket, kantor, dan

hotel restoran menengah di sepanjang jalan arteri dan kolektor sekunder. Dengan kegiatan ekonomi menengah ke besar yang perlu perizinan dan syarat yang lebih ketat untuk pembangunan infrastruktur.

Berdasarkan (BPS, 2022) jumlah pasar yang ada di Kota Yogyakarta 27 pasar dan 13.432 pedagang, ini menunjukkan bahwa padatnya wilayah perdagangan dan jasa sekunder. Pada penelitian (Amyati, 2022) di pasar Beringharjo ditemukan 50% air dari titik sampling mengandung nitrat yang melebihi standar baku mutu PERMENKES No.2 Tahun 2023, nitrat yang berlebih pada air tanah ini dapat disebabkan oleh kegiatan domestik penduduk sekitar.

Sedangkan pada patoghen *E.coli* proporsi pencemaran sedang dan berat, Fasilitas kegiatan/pelayanan primer menjadi zona yang paling rentan, meskipun jumlah titik hanya 3, namun berada pada zona cemar sedang dan berat. Jika dilihat dari wilayah dengan titik lebih banyak, wilayah pariwisata dan jasa mempunyai proporsi tertinggi 29% titik berada pada zona cemar sedang ke berat meski jumlah titiknya tidak sebesar perumahan, tingkat pencemaran nya relatif lebih serius. Secara jumlah, wilayah perdagangan dan jasa sekunder serta perumahan merupakan zona pencemaran *E.coli* terbanyak.

Tabel 4.6. Rasio Pencemaran *Total Coliform* Tahun 2024 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi.

No.	Penggunaan Lahan	Jumlah Titik Sampling Zona Tercemar			Persentasi Rasio Berdasarkan Zona Tercemar		
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
1	Budaya	10			100%		
2	Fasilitas Kegiatan / Pelayanan Primer	7			100%		
3	Pariwisata dan Jasa	51			100%		
4	Pendidikan dan Jasa	12			100%		
5	Perdagangan dan Jasa Primer	48			100%		
6	Perdagangan dan Jasa Sekunder	106		1	99%		1%
7	Perkantoran dan Jasa	11			100%		
8	Perumahan	144			100%		
9	Rekreasi dan olahraga	4			100%		

Tabel 4.7. Rasio Pencemaran *Escherichia coli* Tahun 2024 Dengan Penggunaan Lahan Berdasarkan Zona Tercemar Ringan, Sedang, dan Tinggi.

No.	Penggunaan Lahan	Jumlah Titik Sampling Zona Tercemar			Persentasi Rasio Berdasarkan Zona Tercemar		
		Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
1	Budaya	8		2	80%		20%
2	Fasilitas Kegiatan / Pelayanan Primer	4	2	1	57%	29%	14%
3	Pariwisata dan Jasa	39	7	5	76%	14%	10%
4	Pendidikan dan Jasa	9	2	1	75%	17%	8%
5	Perdagangan dan Jasa Primer	36	4	8	75%	8%	17%
6	Perdagangan dan Jasa Sekunder	74	7	26	69%	7%	24%
7	Perkantoran dan Jasa	11			100%		
8	Perumahan	106	13	25	74%	9%	17%
9	Rekreasi dan olahraga	3		1	75%		25%

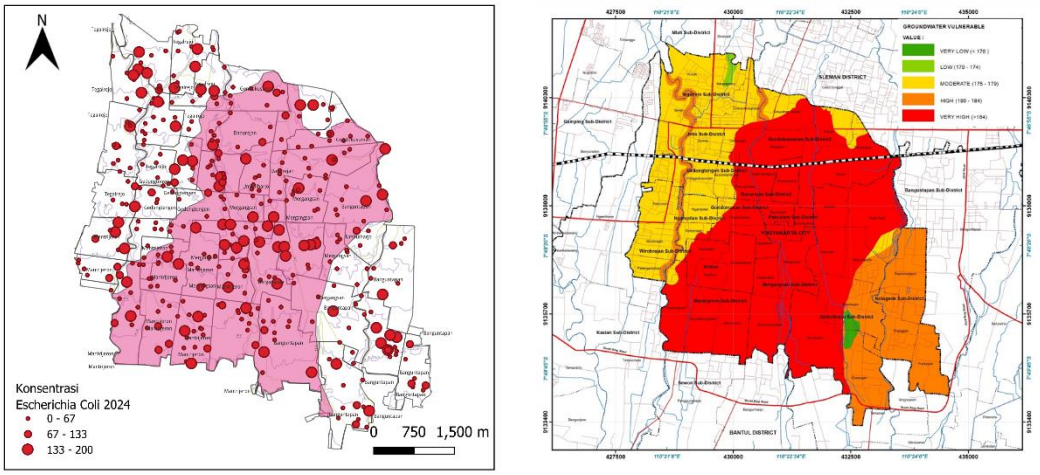
Pada tahun 2024 semua titik berada pada zona tercemar ringan Total Coliform, tetapi ada satu titik sampling yang berada pada zona cemar berat yaitu di kawasan perdagangan dan jasa sekunder, meskipun hanya 1 titik dapat menjadikan proporsi beban pencemar tertinggi berada pada kawasan tersebut. Ini menunjukkan bahwa kondisi kualitas air masih relatif cemar ringan, namun ada indikasi kasus ekstrim di kawasan aktivitas perdagangan.

Sedangkan pada *E.coli* proporsi tertinggi berada pada kawasan fasilitas/pelayanan primer dengan total 7 titik sampling 42,9% berada pada zona cemar sedang dan berat. Posisi kedua yaitu pada kawasan perdagangan dan jasa sekunder sebanyak 107 titik sampling 30,8% dari total titik sampling berada pada zona cemar sedang hingga tinggi. Ini menandakan aktivitas perdagangan padat berpotensi meningkatkan kontaminasi fekal. Namun pada kawasan perumahan menjadi zona dengan pencemaran *E.coli* terbanyak yaitu 144 titik dengan 25 titik berada di zona cemar berat, yang perlu menjadi perhatian karena berhubungan langsung dengan sumber domestik dan sanitasi. 2024 masih merupakan tahun pemulihan dari pasca pandemi. Sektor perdagangan merupakan pendorong ekonomi masyarakat Yogyakarta. Restoran, hotel, dan kafe membuat aktivitas manusia menjadi tinggi. Hal ini juga mengakibatkan peningkatan limbah domestik. Drainase yang tidak mendukung di area tersebut menyebabkan pencampuran limbah domestik sehingga terjadi infiltrasi ke sumur dangkal yang menyebabkan *E.coli* meningkat. Menurut (Pratama, 2024) pada penelitian nya

menyebutkan bahwa beberapa restoran di Kawasan Kecamatan Kraton Yogyakarta membuang langsung limbah yang dihasilkan ke badan air melalui drainase, parit, atau gorong gorong tanpa adanya pengolahan limbah yang dilakukan terlebih dahulu.

Tahun 2024 juga diperbanyak titik sampling di kawasan perumahan sekitar sempadan sungai. Pada penelitian (Ramadhan, 2025) Menunjukan data bahwa tidak semua masyarakat memiliki WC dengan jarak yang aman dari sumur air yaitu >10 m, hal ini dapat menyebabkan infiltrasi kontaminan yang terbawa melalui pergerakan air tanah yang dapat mencemari sumber air bersih masyarakat. Masyarakat mengenal IPAL sebagai saluran yang mengarah ke sungai.

Jika dibandingkan dengan baku mutu PERMENKES No.2 Tahun 2023 kandungan Total Coliform dan *Escherichia coli* adalah 0 CFU/mL. Dari hasil analisis spasial temporal Kota Yogyakarta secara mikrobiologi telah tercemar *Escherichia coli* pada tingkat pencemaran sedang sampai tinggi dan menunjukkan bahwa pencemaran telah menyebar di semua tempat di Kota Yogyakarta terutama di kawasan perdagangan dan jasa sekunder, pariwisata dan jasa, fasilitas kegiatan/pelayanan primer, dan perumahan selama periode waktu 2022-2024.



(a) (b)

Gambar 4.18. Peta Kerentanan Air Tanah Kota Yogyakarta Dengan Konsentrasi Parameter Mikrobiologi Tahun 2024 (a) Dibuat Layout Sendiri (b) Peta Diambil Dari Jurnal

(Sumber : Nurroh S, et al. (2020). Assessment of Groundwater Pollution

Risk Potential Using DRASTIC Model In Yogyakarta City)

Pada penelitian (Nurroh S. et.al , 2020) berdasarkan peta kerentanan tanah Wilayah Kota Yogyakarta air tanah wilayah selatan dan sebagian tengah didominasi oleh kerentanan yang tinggi dan sangat tinggi. Dibagian selatan juga mempunyai kerentanan yang sangat tinggi terhadap kontaminasi mikrobiologis yang terletak di Kecamatan Mantrijeron, Kecamatan Mergangsan, Kecamatan Pakualaman, dan Kecamatan Gondomanan. Wilayah yang rentan ini disebabkan oleh struktur geologi yang ditutupi oleh pasir kasar dan sebagian besar wilayah yang di zona rentan adalah aktivitas pemukiman dan pariwisata. Pada penelitian ini juga menggunakan metode DRASTIC dengan parameter kedalaman muka air tanah dangkal, *Recharge*, media akuifer, jenis tanah, topografi datar, zona vadose tipis dan berpasir, dan konduktivitas hidrolik tinggi .Wilayah Kota Yogyakarta dibagi 5 zona kerentanan persentase total area sangat rendah 0,55%, rendah 0,34%, tengah 24,93%, tinggi 19,8% dan sangat tinggi 54,32%. Sedangkan wilayah yang memiliki potensi pencemaran yaitu Kecamatan Danurejan, Kecamatan Gondomanan, Kecamatan Mantrijeron, Kecamatan Mergangsan, Kecamatan Pakualaman.

Berdasarkan hasil overlay dengan peta kerentanan air tanah yang sangat tinggi dan sebaran konsentrasi parameter mikrobiologi tahun 2024. Memiliki luas 17.942.856 m². Pada zona ini tercatat konsentrasi Total Coliform sebesar 32.311 CFU/mL dan *Escherichia coli* sebesar 11.696. Sebesar 54,35% Total Coliform dan 47,13% *Escherichia coli* berada di zona kerentanan air tanah yang sangat tinggi. Ini dapat menunjukan bahwa zona yang memiliki kerentanan air tanah yang sangat tinggi berpotensi menjadi area yang lebih mudah terkontaminasi, terutama oleh kontaminan mikrobiologis. Karakteristik fisik lingkungan seperti kedalaman muka air tanah yang dangkal, jenis tanah yang permeabel, serta aktivitas antropogenik yang intensif dapat menyebabkan masuknya polutan ke dalam lapisan akuifer lebih cepat dan lebih masif dibandingkan wilayah dengan kerentanan rendah. Pola pencemaran pathogen mikrobiologis adalah kombinasi yaitu tercemar secara vertikal dari kebocoran septic tank ke akuifer dangkal, sedangkan horizontal yaitu terbawa dari aliran air tanah ke arah selatan dapat terlihat dari zona rentan di Mantrijeron, Mergangsan, Gondomanan, dan

Pakualaman. Selain dari saptic tank yang bocor dan mencemari air tanah secara vertikal, biopori juga menjadi salah satu pintu masuk patoghen dari permukaan tanah kedalam air tanah, menurut (Warta Jogjakarta, 2025) Kota Yogyakarta akan membuat satu juta biopori serentak. Dengan demikian, zona ini menjadi prioritas dalam pengendalian dan perlindungan kualitas air tanah.

Hasil evaluasi menunjukan pada tahun 2024 Terdapat beberapa korelasi antara parameter fisika dan kimia terhadap populasi total coliform dan *Escherichia coli*. Analisis korelasi dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel dengan rumus correl.

Tabel 4.8. Analisis Korelasi Parameter Mikrobiologi Dengan Parameter Fisika dan Kimia

UJI CORREL TOTAL COLIFORM		
Suhu	0.043	X
pH	-0.082	X
kekeruhan	-0.017	X
TDS	0.112	**Terdapat Korelasi**
nitrat	0.179	**Terdapat Korelasi**
nitrit	-0.015	X
mangan	0.011	X
besi	-0.018	X

UJI CORREL ESCHERICHIA COLI		
Suhu	0.0199	X
pH	-0.0411	X
kekeruhan	0.0726	X
TDS	0.1077	**Terdapat Korelasi**
nitrat	0.13	**Terdapat Korelasi**
nitrit	0.0144	X
mangan	0.1124	**Terdapat Korelasi**
besi	0.0805	X
TC	0.36	**Terdapat Korelasi**

Dengan nilai r kritis 0,098 dalam tabel pearson product moment dengan probabilitas 2 ekor 0,05 dengan df 398. Dilakukan uji hipotesis dengan r hitung > r kritis maka terdapat korelasi, namun jika r hitung < r kritis maka hipotesis di tolak. Pada parameter Total Dissolve Solid secara signifikan berkorelasi dengan total coliform dengan menunjukan angka 0,112. Ini membuktikan bahwa air tanah mengandung banyak zat padat yang terlarut dalam air. zat padat organik bisa menjadi sumber nutrisi bagi bakteri coliform. Namun TDS tidak secara langsung menyebabkan peningkatan total coliform tetapi dapat menjadi indikator tidak langsung dari kondisi lingkungan dan pencemaran yang mendukung keberadaan bakteri coliform. TDS bisa berasal dari limpasan limbah pertanian dan limbah dari perumahan, dan terjadi secara alami muncul dari pelapukan dan pelarutan batu dan tanah. TDS dapat mengurangi efektivitas desinfeksi karena mikroorganisme pathogen dapat tertutupi oleh senyawa terlarut. (Aneta et al, 2021).

Dan nitrat lebih baik menunjukan signifikansi berkorelasi dengan total coliform dengan menunjukan angka 0,179 nilai signifikan ini lebih besar dari 0,05. Sumber utama nitrat terdapat pada lingkungan alami maupun aktivitas manusia, secara alami nitrat berasal dari proses penguraian ataupun dekomposisi tumbuh-tumbuhan dan sisa sisa organisme mati. Selain itu, nitrat dihasilkan dari aktivitas manusia diantaranya sumbangan dari berbagai limbah industri dan domestik yang mengandung senyawa organik. Menurut (Rosidah, 2014) mikroorganisme membutuhkan nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan dalam proses metabolisme sel. Nitrat dapat menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme, sehingga mempengaruhi jumlah bakteri coliform. Nutrisi baik yang didapatkan bakteri coliform dari nitrat dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri tersebut. Mikroorganisme heterofik mendapatkan nutrisi dari bahan organik untuk aktivitasnya. Terdapat korelasi yang positif antara jumlah dan biomassa sel sel aktif dan substrat dalam kultur murni. Namun pada kultur campuran hubungan tersebut belum tentu benar karena tidak semua mikroorganisme membutuhkan nutrien yang sama. (Mufaidah et al, 2016). Hal ini terbukti dengan konsentrasi nitrat yang tinggi berada pada kecamatan Danurejan dengan konsentrasi nitrat 46,99 mg/L dengan konsentrasi Total

Coliform 139,05 CFU/mL dan Kecamatan Kotagede dengan konsentrasi nitrat 53,3 dengan Total Coliform 222, 53 CFU/mL.

Pada bakteri *Escherichia coli* terdapat korelasi dengan parameter Nitrat yang memiliki nilai 0,13, TDS 0,1077, Mangan 0,1124, dan Total Coliform 0,36. *Escherichia coli* berkaitan dengan Total Coliform. Karena *E.coli* merupakan genus yang lebih spesifik dari kelompok total coliform. Namun *E.coli* hanya bersumber dari usus manusia dan hewan berdarah panas, sehingga lebih spesifik menunjukan kontaminasi fekal langsung. Korelasi yang kuat antara *E.coli* dan TDS diperkuat pada penelitian (Owamah, 2019) menunjukan bahwa mangan dan nitrat bertanggung jawab atas TDS dan *E.coli*, oleh karena itu dapat digambarkan sebagai pengendali sifat kimia dari air tanah di area studi. Menurut (Sojobi, 2015) akuifer yang kaya akan mangan mendorong pelarutan Mg ke dalam akuifer. Meskipun terlarut, ia bukanlah kation yang diutamakan oleh anion utama dalam mineral akuifer, karena itu kadar mangan yang tinggi dalam air tanah maupun sumur.

Hasil analisis korelasi menunjukan bahwa kelompok ion organik dan mineral yang bertanggung jawab atas TDS dan bakteri Total Coliform maupun *E.coli* dalam air tanah adalah Nitrat dan Mangan, yang dengan demikian mengendalikan sifat kimia air tanah. Secara keseluruhan kualitas air tanah dapat mendukung keberadaan pathogen dalam badan air. Suhu yang hangat dan kondisi air tanah yang anaerob dapat menyebabkan pelarutan mangan yang meningkat. TDS yang menjadi salah satu sumber dari senyawa organik ataupun anorganik mendukung keberadaan mikroorganisme pathogen dalam badan air dan terjadi *blooming* yang dapat menurunkan oksigen saat dekomposisi dan membuat peluang patoghen bertahan. Kota Yogyakarta secara keseluruhan sudah tercemar oleh mikroorganisme pembawa penyakit ini. Penanggulangan yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi beban pencemar dari aktivitas manusia ke lingkungan, baik itu langsung di buang ke badan air, ataupun diatas permukaan tanah. Dengan cara mengolah limbah domestik maupun industri seperti, penggunaan saptic tank atau memakai jaringan sewer.

Berdasarkan hasil penelitian di subbab 4.1 Kualitas air tanah di Yogyakarta yang mempunyai nilai outlier tertinggi cenderung berada pada wilayah yang

mempunyai kerentanan air tanah yang sangat tinggi (zona merah) di Gambar 4.21 pada tahun 2024 seperti kekeruhan tertinggi di Kecamatan Danurejan 19 NTU, TDS tertinggi di Kecamatan Umbulharjo 489 mg/ml, nitrit di Kecamatan Mantrijeron, Nitrat tertinggi di Kecamatan Danurejan 127,2 mg/ml. Kualitas air tanah yang diketahui melebihi baku mutu juga menjadi salah satu faktor peningkatan mikroorganisme pathogen di zona merah sebanyak 54,35% *Total Coliform* dan 47,13% *E.coli*. ini menjadi perhatian khusus dalam pemantauan kualitas air di Kota Yogyakarta dan melakukan Upaya untuk mengurangi beban pencemar supaya kualitas air tanah kembali seperti semula.

4.4.1. Rekomendasi Teknis Mitigasi Pencemaran Pathogen Mikrobiologi

Berdasarkan analisis kondisi geografis, sosial, dan geologis di Kota Yogyakarta penyebaran patoghen mikrobiologis yang masif, diperlukan rekomendasi teknis yang bersifat komprehensif dan berkelanjutan. Tingginya kepadatan penduduk, praktik sanitasi yang kurang memadai, pembuangan limbah domestik ke drainase, serta kondisi geologi akuifer yang memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi, membuat solusi individual menjadi kurang efektif. Oleh karena itu, pendekatan yang berfokus pada sistem pengelolaan air dan sanitasi besar menjadi krusial. Berikut merupakan rekomendasi nya :

A. Penerapan IPAL Komunal

Pembangunan IPAL Komunal direkomendasikan sebagai solusi utama untuk mengendalikan pencemaran pathogen mikrobiologis. IPAL Komunal dirancang untuk mengolah air limbah dari beberapa rumah tangga atau area tertentu secara terpusat, berbeda dengan sistem tangki septik individual yang kerap tidak memenuhi standar. Keterbatasan lahan dan tingginya biaya pembangunan saptic tank yang sesuai SNI menjadi kendala di wilayah padat penduduk. Dengan IPAL Komunal, efisiensi pengolahan limbah dapat ditingkatkan, memastikan air buangan yang dilepaskan ke lingkungan telah memenuhi baku mutu dan tidak lagi menjadi sumber pencemaran. Manfaat penggunaan IPAL Komunal :

- Efisiensi pengolahan, air limbah yang diolah secara terpusat dengan teknologi yang lebih efektif.
- Penghematan lahan, mengurangi kebutuhan tangki septik setiap rumah.
- Peningkatan kualitas sanitasi, mencegah praktik BABS di area kumuh dan menghentikan pembuangan langsung limbah ke drainase

Pembangunan IPAL Komunal harus diproritaskan di wilayah padat penduduk, permukiman kumuh, dan area komersial yang menghasilkan volume limbah tinggi, seperti kawasan perdagangan dan perhotelan.

B. Peningkatan Akses Air Bersih Melalui Jaringan PDAM

Meningkatnya pencearan air tanah dangkal oleh *E.coli* menunjukkan bahwa sumur dangkal sudah tidak aman untuk dikonsumsi. Sebagai alternatif, perluasan jaringan PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) direkomendasikan untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat secara merata. Penyediaan air bersih yang berkualitas dari PDAM akan mengurangi ketergantungan masyarakat pada sumur dangkal yang rentan terkontaminasi oleh limbah domestik. Berdasarkan data Penggunaan jaringan PDAM tahun 2023 sebanyak 25.286 pelanggan, tetapi menurun di tahun 2024 menjadi 25.172 pelanggan. Kelompok pelanggan yang menggunakan PDAM diantaranya rumah tangga, industri, hotel budaya, sosial, dan lainnya.

C. Sinergi Kebijakan dan Implementasi

Untuk memastikan keberhasilan rekomendasi ini, diperlukan sinergi antara pemerintah kota, masyarakat, dan sektor swasta. Pemerintah Kota Yogyakarta harus berperan aktif dalam penyusunan kebijakan, pengalokasian anggaran, dan pengawasan implementasi pembangunan IPAL komunal serta perluasan jaringan PDAM. Partisipasi masyarakat juga krusial dalam adopsi sistem sanitasi yang lebih baik dan kesediaan untuk beralih ke air bersih PDAM. Dengan kombinasi pembangunan infrastruktur yang tepat dan perubahan

perilaku masyarakat, masalah pencemaran *E. coli* dan total coliform di Yogyakarta dapat diatasi secara efektif dan berkelanjutan.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Terdapat korelasi yang signifikan pada data tahun 2024 yaitu konsentrasi TDS, Nitrat, Mangan terhadap bakteri Total Coliform dan *E.coli* dengan nilai korelasi TDS-Total Coliform 0,112, Nitrat-Total Coliform 0,179, TDS-*E.coli* 0,1077, Nitrat-*E.coli* 0,13, Mangan-*E.coli* 0,1124 Total Coliform-*E.coli* 0,36.
2. Pola sebaran konsentrasi parameter mikrobiologi sudah menyebar rata pada Kota Yogyakarta dalam kategori menengah hingga tinggi 100-500 CFU/mL. Konsentrasi tinggi berada pada bagian Selatan Kota Yogyakarta yang menunjukan bahwa persebaran bakteri di ikuti dengan ketinggian kontur dan arah aliran air yang mengarah ke wilayah Selatan Kota Yogyakarta dengan Kecamatan Mergangsan, Kecamatan Umbulharjo, dan Kecamatan Gondokusuman berturut turut pada tahun 2022 hingga 2024. Banyak ditemukan konsentrasi menengah 100-200 CFU/mL di samping sempadan Sungai serta Kawasan kumuh ringan.
3. Penggunaan lahan dan konsentrasi parameter mikrobiologi di Kota Yogyakarta selama tahun pengamatan, dengan rasio perbandingan jumlah titik pada penggunaan lahan dengan jumlah titik berdasarkan pengelompokkan zona tercemar. Ditemukan adanya beban konsentrasi berat pada tiap tahun nya. Pada tahun 2022 terdapat pada wilayah pariwisata dan jasa sebesar 26%. Tahun 2023 di wilayah pariwisata dan jasa sebesar 29% dan 2024 pada wilayah perdagangan dan jasa sekunder sebesar 30,8%.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, maka dapat diberikan saran berupa :

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai banyaknya sistem sanitasi yang tidak sesuai SNI. Implikasi dari penelitian ini penting bagi kebijakan pengentasan kawasan kumuh dan program peningkatan sanitasi.
2. Pendekatan berbasis spasial dalam identifikasi risiko kontaminasi *E. coli* dapat digunakan sebagai dasar perencanaan prioritas intervensi infrastruktur sanitasi di kawasan rawan pencemaran, khususnya di area permukiman padat dan berkategori kumuh ringan.
3. Perlunya penelitian lebih lanjut *Fate and Transport* mengenai masuknya kontaminan mikrobiologis kedalam akuifer.
4. Perlu adanya evaluasi dan monitoring setiap tahun. Hal ini guna mengontrol persebaran kontaminan mikrobiologis bersamaan dengan upaya pencegahan dan pengurangan bakteri total coliform dan *Escherichia coli.*

DAFTAR PUSTAKA

Aisyah, A. N., Kiki,), Utomo, P., Dian,), & Jati, R. (2017). *ANALISIS DAN IDENTIFIKASI STATUS MUTU AIR TANAH DI KOTA SINGKAWANG STUDI KASUS KECAMATAN SINGKAWANG UTARA*.

Amina Misa, R. S. (2019). KTI Penelitian Jurusan Kesehatan Lingkungan Manado. *Hubungan Kedalaman Sumur Bor Dengan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) di Kelurahan Malendeng Kecamatan Paal2 Kota Manado*, 1-4.

Amyati, N. W. (2022). Kualitas Fisik dan Kimia Air Bersih di Pasar Beringharjo . *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat* .

Annisa Nur Lathifa, D. S. (2023). Analisis Kualitas Air Tanah Berdasarkan Parameter Mikrobiologi (Studi Kasus : Kapanewon Ngaglik, Yogyakarta). *Jurnal Serambi Engineering*, 6717.

Badan Pusat Statistik . (2020). Statistik Migrasi Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Hasil Long Form Sensus Penduduk 2020. Yogyakarta.

Badan Pusat Statistik. (2024). Buku Dalam Angka Kota Yogyakarta 2023. Yogyakarta.

Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta. (2024). *Statistik Lingkungan Hidup Daerah Istimewa Kota Yogyakarta.* Yogyakarta.

Barbulescu, A. (2020). Assesing Groundwater Vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-Like Methods: A Review. 1-2.

Boby Rozano, W. Y. (2017). Monitoring The Transformation of Yogyakarta's Urban Form Using Remote Sensing and Geographic Information System. *Earth and Environmental Science*.

Boekoesoe, L. (2010). Tingkat Kualitas Bakteriologis air Bersih di Desa Sosial Kecamatan Paguyaman Kabupaten Boalemo. 249-250.

BPS Kota Yogyakarta. (2025). *Kota Yogyakarta Dalam Angka 2024.* Yogyakarta: BPS Kota Yogyakarta.

BPS Provinsi D.I Yogyakarta. (2024). Statistik Lingkungan Hidup D.I Yogyakarta 2023/2024. Yogyakarta: BPS Provinsi D.I Yogyakarta.

C.B. Tiwary, V. P. (2013). Effect of pH growth performance and survival rate of Grass Carp. 375.

Dhana Hastuti, T. Y. (2016). Younger Physic Journal. *Analisis Kerentanan Air Tanah Terhadap Pencemaran di Dataran Alluvial Kota Semarang Menggunakan Metode GOD Dengan Memanfaatkan Data Resistivitas dan Data Hidrogeologi*, 277-290.

Dinas Kesehatan. (2023). *Satu Data Indonesia*. Diambil kembali dari Jumlah Kasus HIV/AIDS, DBD, DIare,TB dan Malaria Menurut Kota Yogyakarta: https://dataset.jogjakota.go.id/dataset/kyda2023-34

Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. (2019). *Laporan Kinerja Instansi Pemerintah.* Yogyakarta.

Edy Sriyono, S. N. (2018). Well Water Contamination Analysis in the Code Riverbank Terrace in Yogyakarta.

Hilderbrand, K. S. (2007). hapter 14: Coliforms, Fecal Coliforms, and Escherichia coli*. In *Compendium of Fish and Fishery Product Processes, Hazards, and Controls. *Seafood Network Information Center, Oregon State University.*

Hua, A. K. (2017). Land Use Cover Changes in Detection of Water Quality : A Study Based on Remote Sensing and Multivariate Statistic. *Journal of Enviromental and Public Health*.

Ichiro Yoneda, M. N. (2024). Significant Factors for Modelling Survival of Escherichia coli in Lake Sediment. 9.

Kusuma, S. A. (2010). *Makalah Eschercia coli.* Bandung: Universitas Padjadjaran Fakultas Farmasi.

Laskar Putra Syah, N. Y. (2017). Hubungan Sanitasi Lingkungan Dengan Kejadian Diare Pada Balita di Wilayah Kerja Puskesmas Lainea Kabupaten Konawe Selatan. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat*.

Laurie BOITHIAS, O. R. (2020). Quantifying the effect of overland flow on Escherichia coli pulses during floods: use of a tracer-based approach in an erosion-prone tropical catchment .

Mary Ngatia, S. M. (2023). Effects of Anthropogenic Activities on Water Quality within Ngong River Sub-Catchment, Nairobi, Kenya.

Nur Zaman, d. (2023). *Manajemen Kualitas Air.* Yayasan Kita Menulis.

Owamah, H. (2019). Groundwater Quality Parameters Correlation and Microbial Analysis. Vol. 38. No. 2.

Piscopo, G. (2001). Groundwater Vulnerability Map Explanatory Notes. 4-6.

PPN/Bappenas, K. (2020). Strategi Nasional Penanganan Permukiman Kumuh. *2020-2024*.

Pratama, R. (2024). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Restoran di Kawasan Kecamatan Kraton Yogyakarta.

Priscilla Eka Wulandari, O. R. (2019). Kualitas Air Sumur Berdasarkan Parameter Flourida dan Parameter pH di Kelurahan Sumopo Kecamatan Tuminting Kota Manado. *Jurnal KESMAS, Vol 6 No.8*, 14.

Putranto Tarmoyo, B. K. (2012). ZONA KERENTANAN AIRTANAH TERHADAP KONTAMINAN DENGAN METODE DRASTIC. 110-119.

Puttinella, J. A. (2014). Perubahan Distribusi Pori Tanah Regosol Akibat Pemberian Kompos Ela Sagu dan Pupuk Organik Cair.

Radjak, N. F. (2013). Pengaruh Jarak Saptictank dan Kondisi Fisik Sumur Terhadap Keberadaan Bakteri *E.coli* Pada Sumur Gali.

Rahma Awliahasanah, D. N. (2021). Enviromental Health Risk Analysis Of Manganese Content In The Well Water Of Depok City. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*.

Ramadhan, R. A. (2025). Faktor Terbentuknya Pemukiman Kumuh di Sempadan Sungai Kelurahan Prenggan Kecamatan Kotagede Kota Yogyakarta.

Relmbuss Biljers Fanda[1], M. H. (2016). Respon Spesifik Puskesmas Terhadap Kebutuhan Sanitasi Penduduk Permukiman Kumuh di Bantaran Sungai Code, Kota Yogyakarta.

Risaldy Aneta, J. M. (2021). Jurnal KESMAS. *Analisis tingkat kekeruhan, Total Dissolve Solid dan Kandungan E.coli pada air sumur di desa Arakan kecamatan Tatapan*, 109.

Ronny Muntu, I. M. (2021). Kemampuan Tray Aerator Filter Zeolit Dalam Menurunkan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn)Pada Air Bersih. 172-181.

Rosidah, Y. H. (2014). Penentuan Total Mikroba Indikator Nitrat dan Fosfat Pada Sungai Tapung Kiri.

Rusydi Ananda, M. F. (2018). *Statistik Pendidikan (Teori dan Praktik Dalam Pendidikan)*. Medan: CV. Widya Puspita.

S. adnan, J. I. (2014). Spatial Analysis of the Groundwater Quality in the Peshawar District, Pakistan. *Procedia Engineering*, 14-22.

Saheed Adeyinka Oke, F. F. (2017). Guidlanes to Groundwater Vulnerability Mapping for Sub Saharan Africa. *Groundwater For Sustainable Development*, 168-177.

Savitri, A. R. (2017). Kualitas Airtanah Bebas di Kelurahan Prenggan. Kecamatan Kotagede, Kota Yogyakarta. *Geo Educasia 2*.

Sintasari, F. (2022, Agustus 15). *Air di Jogja Mengandung Bakteri E.Coli, Ini yang Harus Dilakukan*. Diambil kembali dari IDN Times Jogja: https://jogja.idntimes.com/news/jogja/air-di-jogja-mengandung-bakteri-e-coli-ini-yang-harus-dilakukan-00-4qy7t-gpg8jl

Sojobi, A. O. (2015). Evaluation of groundwater quality ina rural community in North Central ofNigeria. *Environmental Monitoring andAssessment*, 11.

Supriatna, M. M. (2020). *Hubungan pH dengan parameter kualitas air pada tambak intesif udang Vannamei (Litopenaeus vannamei)*.

Suresha, L. .. (2015). INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE 2015). *Evaluation of Aquifer Vulnerability Using Drastic Model And GIS: A Case Study Of Mysore City, Karnataka, India*.

Surya Damar Sasongko Putro, W. W. (2022). Assessment of nitrate contamination and its factors in the urban area of Yogyakarta Indonesia. *JOURNAL OF DEGRADED AND MINING LANDS MANAGEMENT* .

Syampadzi Nurroh*, T. G. (2020). Assessment of groundwater pollution risk potential using DRASTIC Model in Yogyakarta City, Indonesia.

W Naily, S. S. (2023). Distribution of Escherichia coli and coliform in groundwater at Leuwigajah and Pasikoraja Areas. 6.

Warda, M. C. (2024). Analisis Sensitivitas Parameter Iklim dan Sanitasi Lingkungan Terhadap Kejadian DIare di Kota Yogyakarta. *Tugas Akhir*.

Warta Jogjakarta. (2025, Juni). *Generasi Muda Kota Yogyakarta Diajak Untuk Jadi Penggerak Aksi Sejuta Biopori*. Diambil kembali dari Portal Berita Pemerintah Kota Yogyakarta: https://warta.jogjakota.go.id/detail/index/40390/generasi-muda-kota-yogya-diajak-untuk-jadi-penggerak-aksi-sejuta-biopori-2025-06-15

Winiati P Rahayu, S. N. (2018). *Escherichia Colli : Patogenitas, Analisis dan Kajian Risiko.* Kota Bogor: IPB Press.

Yogyakarta, D. K. (2023, Agustus 18). Diambil kembali dari Imunisasi Rotavirus, Upaya Menurunkan Kasus Diare Berat Pada Anak: https://kesehatan.jogjakota.go.id/artikel/id/74

Yogyakarta, D. P. (2022). *Statistik Kepariwisataan 2022 Daerah Istimewa Yogyakarta.*

Zulistiana Mufaidah, S. M. (2016). Hubungan Kandungan Bahan Organik Dengan Total Bakteri di Sedimen Muara Sungai Wiso Jepara.

LAMPIRAN

Lampiran 1 . Tabel Statistik deskriptif tahun 2022

Tahun 2022	*Suhu*	*pH*	*Kekeruhan*	*TDS*	*nitrat (No3) mg/l*	*nitrit (No2) mg/l*	*mangan mg/l*	*besi mg/l*	*Total Coli*	*Fecal.Coli (CFU/100 ml)*
		asam	ok	ok	ok	ok	ok	ok	danger	**danger**
Mean	25.89222	6.232778	1.126333	283.8111	6.719322	0.016309	0.042644	0.263611	142.1333	23.53333
Standard Error	0.810068	0.022666	0.377847	9.030174	0.415975	0.004881	0.007343	0.023333	25.16448	5.035509
Median	27.9	6.235	0.4	264	6.611	0.006	0.009	0.3	89	4
Mode	27.6	6.1	0.3	283	0.708	0.017	0.009	0.3	200	0
Standard Deviation	7.684981	0.215031	3.584572	85.66775	3.946282	0.046303	0.069664	0.221358	238.7313	47.77104
Sample Variance	59.05893	0.046238	12.84916	7338.964	15.57314	0.002144	0.004853	0.048999	56992.61	2282.072
Kurtosis	7.765944	3.051244	41.62381	2.461105	0.223374	54.967	17.01117	42.82223	30.45182	6.028034
Skewness	-3.02555	-0.731906	6.293415	1.548203	0.360356	7.079361	3.578519	5.263574	5.239368	2.624899
Range	32.2	1.48	27.75	426	19.98	0.398	0.462	1.991	1599	200
Minimum	0	5.35	0.1	175	0.005	0	0.001	0.009	1	0
Maximum	32.2	6.83	27.85	601	19.985	0.398	0.463	2	1600	200
Sum	2330.3	560.95	101.37	25543	604.739	1.4678	3.838	23.725	12792	2118
Count	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90

Lampiran 2 . Tabel Statistik deskriptif tahun 2023

Tahun 2023	Suhu	pH	Kekeruhan	*TDS*	nitrat (No3) mg/l	nitrit (No2) mg/l	mangan mg/l	besi mg/l	*Total Coliform (CFU/1000 ml)*	*Fecal.Coli (CFU/100 ml)*
Mean	26.460 82	6.7479 53	1.012	213.37 43	7.498667	0.005567	0.022398	0.0130 47	139.2105	32.49708
Standard Error	0.1646 87	0.0210 06	0.2589 85	7.0589 64	0.28266	0.001827	0.005954	0.0014 01	6.104971	4.812868
Median	26.7	6.7	0.41	200	7.93	0.002	0.002	0.009	200	2
Mode	27.5	6.6	0.39	209	8.35	0.002	0.001	0.009	200	0
Standard Deviation	2.1535 57	0.2746 85	3.3866 63	92.307 93	3.696254	0.02389	0.077856	0.0183 18	79.83286	62.93642
Sample Variance	4.6378 09	0.0754 52	11.469 48	8520.7 53	13.66229	0.000571	0.006062	0.0003 36	6373.285	3960.993
Kurtosis	0.1479 43	2.7958 66	60.328 86	1.4018 08	-0.92133	124.7079	78.23766	45.714 45	-1.2658	2.636935
Skewness	-0.7409 4	1.2250 86	7.6112 65	1.204	-0.32508	10.72	7.981484	6.4551 67	-0.72287	2.035852
Range	10.2	1.7	32	482	13.388	0.292	0.852	0.165	200	200
Minimum	21.4	6.1	0	56	0	0	0.001	0.002	0	0
Maximum	31.6	7.8	32	538	13.388	0.292	0.853	0.167	200	200
Sum	4524.8	1153.9	173.05 2	36487	1282.272	0.952	3.83	2.231	23805	5557

Tahun 2023	Suhu	pH	Kekeruhan	*TDS*	nitrat (No3) mg/l	nitrit (No2) mg/l	mangan mg/l	besi mg/l	*Total Coliform (CFU/1000 ml)*	*Fecal.Coli (CFU/100 ml)*
Count	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171

Lampiran 3 . Tabel Statistik deskriptif tahun 2024

Tahun 2024	*ph*	*Kekeruhan (NTU)*	*TDS (mg/L)*	*nitrit*	*nitrat*	*mangan*	*besi*	*TC*	*EC*
Mean	6.90485	0.590025	271.5658	0.029628	40.26937	0.104183	0.112583	148.595	52.9175
Standard Error	0.020775	0.068911	3.348382	0.005369	1.283826	0.004537	0.007616	5.807918	3.417629
Median	6.81	0.3	265.5	0.0064	38.5	0.09	0.09	191.5	19
Mode	6.6	0.3	226	0.0064	61.8	0.09	0.09	200	200
Standard Deviation	0.415499	1.378217	66.96763	0.107389	25.67652	0.090749	0.152319	116.1584	68.35259
Sample Variance	0.172639	1.899483	4484.664	0.011532	659.2836	0.008235	0.023201	13492.76	4672.076
Kurtosis	11.36571	91.2673	0.533855	147.3503	-0.18801	64.62491	117.1264	164.3201	0.205347

Tahun 2024	*ph*	*Kekeruhan (NTU)*	*TDS (mg/L)*	*nitrit*	*nitrat*	*mangan*	*besi*	*TC*	*EC*
Skewness	2.877606	8.390633	0.248972	11.14119	0.433047	7.339152	9.886079	10.13124	1.322596
Range	2.9	19	417.1	1.624	127.07	1.0998	2.266	2008	200
Minimum	6.03	0	71.9	0.006	0.13	0.0002	0.004	0	0
Maximum	8.93	19	489	1.63	127.2	1.1	2.27	2008	200
Sum	2761.94	236.01	108626.3	11.8512	16107.75	41.6732	45.033	59438	21167
Count	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Lampiran 4 . Tabel Distribusi normal Total coliform 3 tahun pengamatan

UJI NORMALITAS TOTAL COLI

		Interval Total Coliform Tahun 2022, 2023, dan 2024		
n	1200	0	-	151.66

min	0.000
max	2008.000
range	2008
K	13
P	151.656

153	-	304.31
305	-	456.97
458	-	609.62
611	-	762.28
763	-	914.94
916	-	1067.59
1069	-	1220.25
1221		1372.91
1374		1525.56
1527	-	1678.22
1679		1830.87
1832	-	2008.00

rata-rata (xbar)	(∑fi.xi)/(∑fi)	126.9781
Standar Deviasi	√∑fi.(xi-xbar)^2/n	107

		Nilai Observasi	Batas Kelas		Z		Tabel Z		Pi	Ei	(0i-Ei)^2/Ei
TC			fi / 0i	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	(Proporsi)	(Nilai Harapan)	
0	-	152	829	-0.5	152.2	-1	0	0.116286	0.593198	0.476911	572	115
153	-	304	367	152.2	304.8	0	2	0.593198	0.952075	0.358877	431	9
305	-	457	0	304.8	457.5	2	3	0.952075	0.999015	0.04694	56	56

458	-	610	1	457.5	610.1	3	5	0.999015	0.999997	0.000982	1	0
611	-	762	0	610.1	762.8	5	6	0.999997	1	3.03E-06	0	0
763	-	915	0	762.8	915.4	6	7	1	1	1.31E-09	0	0
916		1068	0	915.4	1068.1	7	9	1	1	7.72E-14	0	0
1069		1220	0	1068.1	1220.7	9	10	1	1	0	0	#DIV/0!
1221		1373	0	1220.7	1373.4	10	12	1	1	0	0	#DIV/0!
1374		1526	0	1373.4	1526.1	12	13	1	1	0	0	#DIV/0!
1527		1678	2	1526.1	1678.7	13	15	1	1	0	0	#DIV/0!
1679	-	1831	0	1678.7	1831.4	15	16	1	1	0	0	#DIV/0!
1832	-	2008	1	1831.4	2008.5	16	18	1	1	0	0	#DIV/0!
n			1200									#DIV/0!
						Uji Hipotesis						
						Menggunakan rumus: x^2(0) < nilai tabel X^2 (18) Keputusan Hipotesis: Ho diterima dan Ha ditolak						0

Dk (Derajat Kebebasan)						Kesimpulan: TC 2022,2023,2024 terdistribusi normal						
	K-3		10									
α = 0,05												
Nilai Tabel X^2			18	chiinv								

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Bogor, 22 Juni 2003. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Kustadi dan Tinarsih. Penulis menenmpuh pendidikan di SDN 01 Gunungputri pada tahun 2009 - 2015, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Puspanegara pada tahun 2015 – 2018 di Kabupaten Bogor dan menempuh pendidikan di SMKN 1 Cibinong Jurusan Bisnis Konstruksi dan Properti pada tahun 2018 – 2021. Penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Universitas Islam Indonesia Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan pada tahun 2021. Penulis melakukan beberapa kegiatan organisasi dan kepanitiaan yang berfokus pada bidang sosial dan lingkungan seperti *zero waste* dan dusun binaan. Penulis melaksanakan kerja praktik pada bulan april 2024 di DLH Kabupaten Sleman D.I Yogyakarta bertepatan di TPST Tamanmartani. Penulis melakukan penelitian terkait analisis kerentanan kualitas air tanah berdasarkan parameter mikrobiologi di Kota Yogyakarta untuk menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Lingkugan.