

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Makassar merupakan wilayah perkotaan dengan kepadatan penduduk yang tinggi serta perkembangan permukiman yang pesat. Kondisi ini meningkatkan tekanan terhadap lingkungan perairan, khususnya Sungai Tallo yang melintasi wilayah Kota Makassar. Sungai ini dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan masyarakat, seperti transportasi perairan dan kegiatan perikanan tangkap dan budidaya. Namun, meningkatnya aktivitas domestik dan industri di sepanjang daerah aliran sungai menyebabkan peningkatan beban pencemar (Indrawati *et al.*, 2022). Berdasarkan laporan Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar, kondisi Sungai Tallo dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan indikasi pencemaran yang ditandai dengan perubahan warna air, dan bau tidak sedap, sehingga pada beberapa lokasi dikategorikan tercemar sedang hingga berat.

Secara kuantitatif, beberapa penelitian menunjukkan adanya penurunan kualitas air Sungai Tallo. Nilai *Total Suspended Solid* (TSS) berkisar antara 11,67–69 mg/L, di mana beberapa titik telah melampaui baku mutu sebesar 50 mg/L. Nilai *Dissolved Oxygen* (DO) berada pada kisaran 1,49–2,24 mg/L, yang tergolong rendah dan tidak memenuhi standar bagi biota perairan (Al-Qadri *et al.*, 2023). Kondisi ini menunjukkan tingginya beban pencemar organik serta rendahnya kemampuan perairan dalam mendukung kehidupan organisme. Di sisi lain, parameter seperti BOD, *nitrat*, dan *total fosfat* masih berada pada kategori rendah di beberapa Lokasi (Indrawati *et al.*, 2022) sehingga menunjukkan bahwa kondisi kualitas air Sungai Tallo bersifat spasial dan tidak merata akibat variasi sumber pencemar dari aktivitas domestik, industri, dan pertanian.

Penentuan status mutu air menjadi langkah penting dalam pengelolaan kualitas lingkungan perairan. Penilaian ini dapat dilakukan menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP), *Canadian Council of Ministers of the Environment – Water Quality Index* (CCME-WQI), dan *Storage and Retrieval* (STORET) yang memiliki pendekatan berbeda dalam mengevaluasi kualitas air. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya menggunakan satu metode penilaian kualitas air, seperti Indeks Pencemaran (IP) atau STORET secara terpisah, sehingga hasil yang diperoleh bersifat parsial. Perbedaan prinsip perhitungan pada masing-masing metode berpotensi menghasilkan klasifikasi status mutu air yang berbeda pada lokasi yang sama. Hingga saat ini, penelitian yang membandingkan metode Indeks Pencemaran (IP), CCME-WQI dan STORET secara simultan menggunakan data terbaru di Sungai Tallo masih terbatas. Kondisi ini menyebabkan belum adanya acuan metode yang paling representatif dalam menggambarkan kondisi kualitas air Sungai Tallo secara menyeluruh. Perbedaan hasil antar metode juga dapat mempengaruhi pengambilan keputusan dalam pengelolaan kualitas air sungai.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan status mutu air Sungai Tallo menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP), *Canadian Council of Ministers of the Environment - Water Quality Index* (CCME-WQI), dan *Storage and Retrieval* (STORET) serta membandingkan hasil penilaian status mutu air menggunakan metode

Indeks Pencemaran (IP), *Canadian Council of Ministers of the Environment - Water Quality Index* (CCME-WQI), dan *Storage and Retrieval* (STORET).

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

1. Menganalisis status mutu air Sungai Tallo di Kota Makassar dengan menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP), CCME-WQI dan STORET.
2. Membandingkan hasil penilaian status mutu air Sungai Tallo menggunakan metode Indeks Pencemaran IP, CCME-WQI dan STORET berdasarkan analisis statistik.

1.2.2 Manfaat

1. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai status mutu air Sungai Tallo di Kota Makassar berdasarkan penerapan metode Indeks Pencemaran (IP), CCME-WQI dan STORET.
2. Memberikan gambaran perbandingan efektivitas metode Indeks Pencemaran (IP), CCME-WQI dan STORET dalam menilai status mutu air sungai.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Pencemaran Sungai di Wilayah Perkotaan

Pencemaran sungai di wilayah perkotaan merupakan permasalahan lingkungan akibat tingginya tekanan aktivitas manusia. Tekanan tersebut berasal dari pertumbuhan penduduk, perkembangan permukiman, dan peningkatan kegiatan ekonomi. Kondisi ini menyebabkan meningkatnya beban pencemar yang masuk ke badan sungai. Sungai di kawasan perkotaan sering dimanfaatkan sebagai saluran pembuangan limbah. Pembuangan limbah tersebut dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Sumber pencemaran utama berasal dari limbah domestik, limbah industri, dan limpasan permukaan (*urban runoff*). Limpasan permukaan membawa berbagai zat pencemar ke dalam perairan, terutama saat hujan. Zat pencemar tersebut meliputi bahan organik, deterjen, mikroorganisme patogen, zat kimia berbahaya, logam berat, sedimen, minyak, dan nutrisi. Kondisi ini menyebabkan kualitas air sungai cenderung mengalami penurunan (Effendi, 2003).

Menurut Asdak (2010), pencemaran sungai dibedakan berdasarkan sifat pencemarnya. Pembagian ini didasarkan pada kemampuan pencemar untuk berubah secara kimiawi di dalam badan air.

1. Pencemar konservatif merupakan jenis pencemar yang relatif stabil secara kimiawi. Pencemar ini tidak mengalami perubahan atau penurunan konsentrasi secara signifikan di dalam air. Pencemar konservatif tidak mudah hilang melalui proses pengendapan atau pemurnian alami sungai. Contoh pencemar konservatif adalah logam berat seperti Hg, Cr, Cd, Cu, dan Zn. Logam berat sulit diuraikan melalui proses hidrologi maupun aktivitas mikroorganisme.
2. Pencemar non konservatif merupakan jenis pencemar yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Contoh pencemar ini adalah BOD dan COD. Pencemar non konservatif dapat mengalami perubahan bentuk menjadi senyawa baru. Perubahan ini terjadi melalui proses reaksi biokimia di dalam air. Laju reaksi pencemar non konservatif umumnya dapat diamati secara nyata dalam sistem perairan.

1.3.2 Kriteria Baku Mutu Air Sungai

Baku mutu air sungai merupakan nilai acuan yang digunakan sebagai dasar dalam menilai kondisi atau status kualitas air suatu sungai. Penetapan standar baku mutu sungai perlu mempertimbangkan kondisi lingkungan setempat serta kemampuan badan air dalam menerima beban pencemar yang berasal dari berbagai aktivitas manusia (Tallar, 2024), yang mencakup kegiatan industri, domestik, perkantoran, dan sumber lainnya. Oleh karena itu, diperlukan berbagai kajian ilmiah untuk menentukan kemampuan badan air dalam menerima suatu zat pencemar, baik secara tunggal maupun campuran, yang dikenal sebagai daya dukung sungai.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, baku mutu air sungai didefinisikan sebagai batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain yang terdapat atau diperbolehkan keberadaannya di dalam air sungai. Ketentuan ini menjadi standar kualitas air yang ditetapkan berdasarkan klasifikasi peruntukan badan air, seperti untuk kebutuhan air minum, perikanan, pertanian, dan rekreasi, yang diklasifikasikan ke dalam empat kelas (Kelas I–IV) dan mencakup parameter fisik, kimia, serta mikrobiologi dengan tujuan menjaga kualitas air permukaan dan mencegah pencemaran air sungai.

Klasifikasi mutu air tersebut dibagi menjadi empat kelas yang disesuaikan dengan peruntukannya. Kelas I merupakan kategori dengan kualitas air terbaik yang dapat digunakan sebagai air baku air minum dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Kelas II diperuntukkan bagi kegiatan seperti sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, serta pengairan pertanian atau peruntukan lain dengan standar mutu yang setara. Kelas III memiliki peruntukan yang lebih terbatas, yaitu untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, serta pengairan pertanian dengan persyaratan mutu air yang sesuai. Adapun Kelas IV merupakan kategori dengan tingkat mutu air yang lebih rendah yang umumnya diperuntukkan untuk pengairan pertanian dan/atau peruntukan lain dengan persyaratan mutu air yang serupa.

1.3.3 Parameter Kualitas Air

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), parameter diartikan sebagai ukuran yang mewakili keseluruhan populasi dalam suatu penelitian dan digunakan sebagai dasar untuk melakukan pendugaan berdasarkan data sampel. Dalam kajian kualitas air, kondisi suatu perairan dapat dinyatakan melalui parameter kualitas air yang mencerminkan karakteristik air tersebut. Parameter kualitas air mencakup aspek fisik, kimia, dan mikrobiologis yang digunakan sebagai indikator untuk menilai tingkat kualitas air. Dengan demikian, parameter kualitas air merupakan seperangkat ukuran yang digunakan untuk menentukan kualitas suatu perairan secara menyeluruh berdasarkan sifat fisika, kimia, dan biologinya (Kurniawan, 2019).

1.3.3.1 pH

pH (*Potential Hydrogen*) merupakan parameter kimia yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Nilai pH dinyatakan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen dalam air. Parameter ini berperan penting sebagai indikator utama dalam penilaian kualitas air. Nilai pH memengaruhi berbagai proses fisik, kimia,

dan biologis dalam ekosistem perairan. Setiap organisme akuatik memiliki batas toleransi tertentu terhadap perubahan pH. Batas toleransi ini diperlukan untuk menunjang pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme. Variasi nilai pH dapat memberikan dampak langsung maupun tidak langsung terhadap biota perairan (Yulis *et al.*, 2018).

Perubahan nilai pH dalam perairan dapat dipengaruhi oleh masuknya limbah organik dan anorganik. Limbah tersebut berpotensi mengganggu keseimbangan lingkungan perairan. Secara umum, perairan dengan pH berkisar antara 6,5–7,5 dikategorikan sebagai kondisi normal. Kisaran tersebut masih mampu mendukung kehidupan organisme air. Nilai pH di luar kisaran tersebut dapat mengindikasikan adanya pencemaran. Kondisi pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memengaruhi struktur ekosistem. Kondisi tersebut juga dapat mengganggu fungsi ekosistem perairan (Sofiana *et al.*, 2022).

1.3.3.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam perairan. Proses penguraian ini berlangsung dalam kondisi aerobik (Hamuna *et al.*, 2018). Parameter BOD digunakan sebagai indikator utama untuk menilai tingkat pencemaran organik. Nilai BOD mencerminkan besarnya beban bahan organik yang masuk ke badan air. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan kandungan bahan organik yang tinggi dalam perairan. Kondisi ini mengindikasikan tingkat pencemaran yang semakin meningkat. Sebaliknya, nilai BOD yang rendah menunjukkan kondisi perairan yang relatif baik. Nilai tersebut juga mengindikasikan tingkat pencemaran yang masih rendah (Yudo, 2010).

Nilai BOD dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi kualitas perairan. Perairan dengan nilai BOD antara 0–10 mg/L dikategorikan sebagai tingkat pencemaran rendah. Perairan dengan nilai BOD antara 10–20 mg/L dikategorikan sebagai tingkat pencemaran sedang (Hamuna *et al.*, 2018).

1.3.3.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan dalam air. Parameter ini mencakup seluruh bahan organik yang dapat teroksidasi secara kimia. Nilai COD digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran organik dalam perairan. Nilai ini mencerminkan besarnya beban zat organik yang masuk ke badan air. Kandungan zat organik yang tinggi dapat menurunkan kadar oksigen terlarut di perairan (Boyd, 1990).

Meskipun banyak digunakan, analisis COD memiliki beberapa keterbatasan. Pengukuran COD dapat dipengaruhi oleh senyawa anorganik yang mudah teroksidasi. Senyawa tersebut dapat ikut bereaksi selama proses pengujian. Kondisi ini menyebabkan nilai COD menjadi lebih tinggi dari kondisi sebenarnya. Nilai yang lebih tinggi dapat memberikan estimasi berlebih terhadap tingkat pencemaran organik. Oleh karena itu, hasil pengukuran COD perlu diinterpretasikan dengan hati-hati (Haryadi, 2004).

1.3.3.4 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solids (TSS) merupakan partikel padat yang terdapat di dalam air dan tidak terlarut. Partikel ini menyebabkan perairan menjadi keruh dan tidak langsung mengendap di dasar. Partikel TSS dapat berupa lumpur, tanah liat, oksida logam, dan sulfida. Partikel ini juga dapat berupa organisme mikroskopis seperti ganggang, bakteri, dan jamur. Keberadaan TSS meningkatkan tingkat kekeruhan (turbidity) perairan. Kekeruhan dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam kolom air. Kondisi ini menyebabkan penurunan intensitas fotosintesis. Kondisi tersebut juga menurunkan visibilitas di lingkungan perairan (Djoharan *et al.*, 2018).

Distribusi dan konsentrasi TSS dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan. Faktor tersebut meliputi pasang surut, angin, dan arus perairan. Aktivitas manusia juga mempengaruhi peningkatan kadar TSS (Sinaga *et al.*, 2024). Nilai TSS memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan tingkat kekeruhan. Peningkatan TSS akan diikuti oleh peningkatan kekeruhan perairan (Arafah *et al.*, 2015). Kekeruhan yang tinggi dapat menurunkan produktivitas biota akuatik. Kondisi ini juga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Secara umum, konsentrasi TSS normal berada pada kisaran rendah. Nilai TSS normal berada di bawah 1 g/L (Rogers, 1990). Kondisi perairan yang baik umumnya memiliki kadar TSS kurang dari 0,07 g/L (May *et al.*, 2003).

1.3.3.5 Dissolved Oxygen (DO)

Dissolved Oxygen (DO) merupakan parameter utama dalam penilaian kualitas perairan. Parameter ini berperan penting dalam menunjang kehidupan organisme akuatik. Konsentrasi DO memiliki hubungan erat dengan beban pencemaran organik. Nilai DO dapat digunakan sebagai indikator adanya pencemaran organik dalam perairan. Oksigen terlarut berfungsi sebagai faktor pembatas dalam lingkungan perairan. Perubahan kadar DO mencerminkan kondisi kualitas perairan (Sofiana *et al.*, 2022).

Kadar DO dipengaruhi oleh berbagai proses fisik dan biologis. Proses tersebut meliputi pencampuran massa air dan pergerakan arus. Aktivitas fotosintesis dan respirasi organisme juga memengaruhi kadar DO. Masuknya limbah ke badan air dapat menurunkan konsentrasi DO. Kadar DO yang tinggi menunjukkan kondisi perairan yang baik. Kondisi ini mendukung produktivitas organisme akuatik. Sebaliknya, kadar DO yang rendah dapat menurunkan produktivitas biota. Kondisi ini juga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Safitri *et al.*, 2022).

Pengukuran DO digunakan untuk menilai kemampuan perairan dalam mendukung kehidupan biota. Parameter ini juga digunakan untuk mengetahui kapasitas pemurnian alami perairan. Proses pemurnian terjadi melalui aktivitas mikroorganisme pengurai. Mikroorganisme memanfaatkan oksigen dalam penguraian bahan organik. Oksigen terlarut juga berperan dalam proses metabolisme organisme. Oksigen digunakan dalam pertukaran zat dan reaksi oksidasi. Oksigen banyak ditemukan pada lapisan permukaan perairan. Kondisi ini terjadi akibat difusi oksigen dari udara ke dalam air. Kebutuhan oksigen setiap organisme berbeda-beda. Perbedaan ini dipengaruhi oleh jenis, pertumbuhan, dan aktivitas organisme (Hamuna *et al.*, 2017).

1.3.3.6 Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) merupakan bentuk utama *nitrogen* yang banyak dijumpai di perairan alami. Senyawa ini berperan sebagai nutrisi penting bagi pertumbuhan organisme perairan. *Nitrat* terutama dimanfaatkan oleh alga dalam proses pertumbuhan. Senyawa ini dapat ditemukan di air permukaan dan air tanah (Hamuna *et al.*, 2018). Keberadaan *nitrat* di perairan sungai berasal dari aktivitas organisme. *Nitrat* juga berasal dari proses pelapukan bahan organik dalam badan air. *Nitrat* berperan dalam sintesis protein pada tumbuhan dan hewan. Konsentrasi *nitrat* memengaruhi pertumbuhan dan produktivitas biota perairan. Konsentrasi *nitrat* yang tinggi dapat meningkatkan pertumbuhan organisme akuatik. Peningkatan ini terjadi jika didukung oleh ketersediaan nutrisi lain.

Kadar *nitrat* dapat digunakan sebagai indikator tingkat kesuburan perairan. Konsentrasi *nitrat* sebesar 0-1 mg/L menunjukkan kondisi perairan *oligotrofik*. Kondisi *oligotrofik* memiliki kandungan unsur hara yang rendah. Konsentrasi *nitrat* sebesar 1-5 mg/L menunjukkan kondisi perairan *mesotrofik*. Kondisi *mesotrofik* memiliki tingkat kesuburan sedang. Konsentrasi *nitrat* sebesar 5-50 mg/L menunjukkan kondisi perairan *eutrofik*. Kondisi *eutrofik* memiliki kandungan unsur hara yang tinggi (Mustofa, 2015).

1.3.3.7 Total Fosfat

Fosfat ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) merupakan unsur hara esensial dalam perairan. Unsur ini berperan dalam proses metabolisme organisme akuatik. *Fosfat* juga berperan dalam pembentukan protein. Di perairan laut, *fosfat* merupakan nutrisi utama. *Fosfat* ditemukan dalam bentuk anorganik, organik terlarut, dan partikulat. Keberadaan *fosfat* mendukung pertumbuhan *fitoplankton*. *Fosfat* juga mendukung aktivitas metabolisme organisme perairan lainnya. Konsentrasi *fosfat* berperan dalam menentukan tingkat kesuburan perairan (Hamuna *et al.*, 2018).

Konsentrasi *fosfat* di perairan bersifat dinamis. Nilainya dipengaruhi oleh berbagai proses alami. Proses tersebut meliputi pengikisan, pelapukan, dan pengenceran. Konsentrasi *fosfat* cenderung meningkat dari laut lepas ke wilayah pesisir. *Fosfat* dikenal sebagai faktor pembatas dalam ekosistem perairan. *Fosfat* berperan pada perairan dengan produktivitas tinggi maupun rendah. Ketersediaan *fosfat* memengaruhi jumlah *fitoplankton*. Ketersediaan *fosfat* juga memengaruhi kelimpahan *fitoplankton*. *Fosfat* berperan dalam menentukan produktivitas primer perairan (Kadim *et al.*, 2017).

Keberadaan *fosfat* dipengaruhi oleh proses alami dan aktivitas daratan. Pelapukan batuan mineral merupakan sumber utama *fosfat*. Penguraian bahan organik juga menjadi sumber fosfat di perairan (Bio *et al.*, 2020). Konsentrasi bahan organik yang tinggi dapat meningkatkan kadar *fosfat*. Proses dekomposisi bahan organik melepaskan *fosfat* ke dalam kolom air. *Fosfat* berperan sebagai unsur hara penting dalam mendukung kehidupan organisme perairan. *Fosfat* juga berperan dalam meningkatkan produktivitas perairan (Patty *et al.*, 2015).

1.3.3.8 Fecal Coliform

Bakteri *fecal coliform* merupakan mikroorganisme yang digunakan sebagai indikator biologis kualitas air. Bakteri ini menunjukkan kemungkinan adanya kontaminasi patogen dalam suatu sampel air (Sari *et al.*, 2019). Keberadaan *fecal coliform* dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan. Salah satu faktor tersebut adalah kondisi pasang surut perairan. Pada saat air pasang, zat pencemar cenderung tertahan di badan sungai.

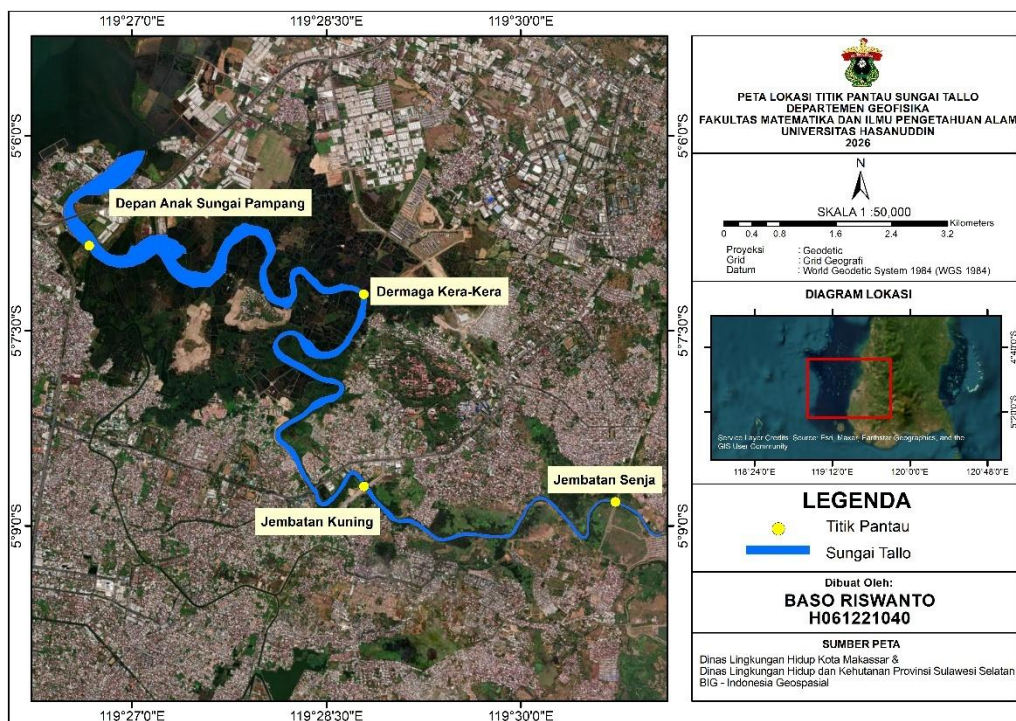
Kondisi ini menyebabkan akumulasi pencemar meningkat. Akumulasi tersebut dapat memperburuk kualitas air sungai (Juwono *et al.*, 2017).

Menurut *World Health Organization*, bakteri *coliform* merupakan kelompok bakteri Gram negatif. Bakteri ini bersifat aerobik dan fakultatif anaerobik. Sebagian besar bakteri *coliform* bersifat heterotrof. Bakteri ini mampu hidup di lingkungan air dan tanah. Dalam sistem distribusi air, jumlah *coliform* dapat meningkat jika kondisi lingkungan mendukung. Keberadaan *coliform* dapat berasal dari kontaminasi tinja manusia atau hewan. Beberapa jenis *coliform* juga dapat ditemukan secara alami di perairan (Arsyna *et al.*, 2019). Oleh karena itu, *coliform* digunakan sebagai indikator kualitas mikrobiologis air. Keberadaan *coliform* menunjukkan potensi adanya mikroorganisme patogen lain. Mikroorganisme tersebut meliputi *Giardia*, *Cryptosporidium*, dan *Escherichia coli*.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Sungai Tallo, salah satu sungai utama di Kota Makassar yang termasuk dalam DAS Tallo, dengan aliran meliputi wilayah hulu hingga hilir dan bermuara ke Selat Makassar. Pengambilan sampel air dilakukan pada empat titik pantau, yaitu di depan anak Sungai Pampang, Dermaga Kera-kera, Jembatan Kuning, dan Jembatan Senja.



Gambar. 1 Peta Lokasi Titik Pantau Sungai Tallo Kota Makassar

Tabel 1. Lokasi Titik Pantau Sungai Tallo Kota Makassar

Titik Pengamatan	Alamat	Lintang	Bujur
Depan Anak Sungai Pampang	Sungai Tallo Depan Anak Sungai Tallo (Pampang) Hilir	5°06'50.8"S	119°26'40.1"T
Dermaga Kera-Kera	Dermaga Kera-Kera Tengah, Tamalanrea Indah, Kec. Tamalanrea	5°07'13.2"S	119°28'47.2"T
Jembatan Senja	Jembatan Senja Makassar Tengah, Jalan Baru, Tello Baru, Kec. Panakkukang	5°08'41.8"S	119°28'47.4"T
Jembatan Kuning	Jembatan Kuning Hulu, Tamalanrea, Kec. Tamalanrea	5°08'49.0"S	119°30'43.8"T

2.2 Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data pada penelitian ini meliputi data sekunder yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar dan Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Sulawesi Selatan. Data yang digunakan mencakup parameter fisika, kimia, dan biologi yang terdapat di Sungai Tallo pada periode tahun 2023-2025. Dalam satu tahun, pengambilan sampel air dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada bulan Mei dan September. Lokasi penelitian dibagi menjadi empat titik yang ditentukan oleh instansi terkait, yaitu depan anak Sungai Pampang, Dermaga Kera-Kera, Jembatan Kuning, dan Jembatan Senja, dengan kedalaman pengambilan sampel sebesar 4 meter pada setiap titik. Parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas air meliputi pH, BOD, COD, TSS, DO, NO₃-N, *total fosfat*, dan *fecal coliform*.

2.3 Metode Analisis Data

Metode analisis data dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan status mutu air Sungai Tallo berdasarkan parameter kualitas air yang telah diperoleh. Analisis dilakukan menggunakan metode Indeks Pencemaran (IP), *Canadian Council of Ministers of the Environment - Water Quality Index* (CCME-WQI), dan *Storage and Retrieval* (STORET) yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

2.3.1 Indeks Pencemaran (IP)

Metode Indeks Pencemaran (IP) merupakan pendekatan yang digunakan untuk menilai tingkat pencemaran air sungai dengan mengintegrasikan parameter kualitas air ke dalam satu nilai indeks yang merepresentasikan kondisi perairan secara keseluruhan, di mana parameter yang digunakan disesuaikan dengan peruntukan sungai dan tujuan pemantauan (Tallar, 2024). Penerapan metode ini di Indonesia mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang menetapkan baku mutu air berdasarkan klasifikasi peruntukan badan air melalui perbandingan antara hasil pengukuran parameter kualitas air dengan nilai baku mutu yang berlaku.

a. Tahapan Perhitungan Indeks Pencemaran (IP)

Tahapan perhitungan Indeks Pencemaran (IP) dilakukan sebagai berikut:

1. Data kualitas air diolah secara tahunan dengan menghitung nilai rata-rata setiap parameter pada masing-masing titik pantau sebagai nilai konsentrasi (C_i).
2. Menentukan nilai baku mutu (L_{ij}) untuk setiap parameter berdasarkan baku mutu air Kelas II.
3. Menghitung rasio antara konsentrasi dan baku mutu (C_i/L_{ij}) untuk setiap parameter.
4. Nilai $C_i/L_{ij} \leq 1$ digunakan secara langsung, sedangkan nilai $C_i/L_{ij} > 1$ disesuaikan dengan persamaan.

$$\frac{C_i}{L_{ij}} = 1 + P \cdot \log \left(\frac{C_i}{L_{ij}} \right) \quad (1)$$

5. Menentukan nilai maksimum dan rata-rata dari nilai C_i/L_{ij} pada setiap titik pantau.
6. Menghitung nilai Indeks Pencemaran (IP_j) untuk setiap titik pantau.
7. Menentukan status mutu air berdasarkan nilai IP .
8. Perhitungan dilakukan pada seluruh titik pantau hingga diperoleh nilai akhir.

b. Rumus Indeks Pencemaran (IP)

$$P_{ij} = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_M^2 + \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_R^2}{2}} \quad (2)$$

Keterangan:

- IP_j : Indeks Pencemaran
 C_i : Variabel hasil Uji Laboratorium
 L_{ij} : Batas baku mutu yang diijinkan sesuai kelas
 M : Nilai Maksimum
 R : Nilai Rata-rata

c. Klasifikasi Indeks Pencemaran (IP)

Tabel 2. Penilaian Indeks Pencemaran (IP) (Tallar, 2024)

Indeks Pencemaran (IP)	Penilaian
$0 \leq P_{ij} \leq 1,0$	Memenuhi Baku Mutu
$1,0 < P_{ij} \leq 5,0$	Cemar Ringan
$5,0 < P_{ij} \leq 10$	Cemar Sedang
$P_{ij} > 10$	Cemar Berat

2.3.2 CCME-WQI

Metode *Canadian Council of Ministers of the Environment - Water Quality Index* (CCME-WQI) merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas air secara menyeluruh dengan mengintegrasikan berbagai parameter kualitas air ke dalam satu nilai indeks numerik. Metode ini awalnya dikembangkan oleh *British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks* dan selanjutnya diadopsi oleh *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) pada tahun 2001 (Tallar, 2024). CCME-WQI telah diterapkan secara luas di berbagai negara, termasuk Indonesia, sebagai alat dalam pemantauan serta pengelolaan kualitas air sungai.

a. Tahapan perhitungan CCME-WQI

Tahapan perhitungan *Canadian Council of Ministers of the Environment - Water Quality Index* (CCME-WQI) dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

1. Pada tahap awal, data kualitas air dihitung berdasarkan titik pantau dan tahun pengamatan, kemudian setiap parameter dibandingkan dengan nilai baku mutu air Kelas II.
2. Selanjutnya, data hasil pengukuran dikelompokkan ke dalam kategori memenuhi dan tidak memenuhi baku mutu pada setiap titik pantau berdasarkan seluruh jumlah pengujian.

3. Kemudian, dihitung nilai F1 (Scope), yaitu persentase jumlah parameter yang tidak memenuhi baku mutu terhadap total parameter yang dianalisis.
4. Selanjutnya, dihitung nilai F2 (Frequency), yaitu persentase jumlah data yang tidak memenuhi baku mutu terhadap total jumlah pengujian.
5. Setelah itu, dihitung nilai penyimpangan (excursion) untuk setiap parameter yang tidak memenuhi baku mutu, kemudian dihitung nilai *normalized sum of excursions* (nse) dan nilai F3 (Amplitude).
6. Berdasarkan nilai F1, F2, dan F3, dilakukan perhitungan nilai CCME-WQI untuk merepresentasikan kondisi kualitas air pada setiap titik pantau.
7. Selanjutnya, status mutu air ditentukan berdasarkan nilai CCME-WQI ke dalam kategori sangat baik, baik, cukup, buruk, atau sangat buruk.
8. Seluruh tahapan perhitungan dilakukan pada setiap titik pantau hingga diperoleh nilai CCME-WQI akhir.

b. Rumus CCME-WQI

F₁ (Scope), menunjukkan proporsi variabel yang tidak memenuhi standar kualitas yang ditetapkan, minimal untuk satu periode waktu. Perhitungan ini dilakukan dengan membandingkan jumlah variabel yang gagal dengan total variabel yang diukur:

$$F_1 = \frac{\text{Jumlah variabel menyimpang}}{\text{Total jumlah variabel}} \times 100\% \quad (3)$$

F₂ (Frequency), Menunjukkan persentase parameter yang tidak memenuhi standar kualitas (gagal uji) dalam setiap pengujian.

$$F_2 = \frac{\text{Jumlah pengujian menyimpang}}{\text{Total jumlah pengujian}} \times 100\% \quad (4)$$

F₃ (Amplitude), Menunjukkan proporsi sampel yang tidak memenuhi standar kualitas yang ditentukan. F3 dapat dihitung sebagai berikut:

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{nilai uji yang menyimpang}}{\text{baku mutu}} \right)}{\text{Total jumlah pengujian}} \times 100\% \quad (5)$$

$$F_3 = \frac{nse}{0.01 nse + 0.01} \quad (6)$$

Setelah semua parameter dihitung, maka CCME-WQI dapat dihitung sebagai berikut :

$$CCME-WQI = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \quad (7)$$

Keterangan:

- F_1 (*Scope*) : Banyaknya jumlah parameter yang melebihi baku mutu
 F_2 (*Frequency*) : Banyaknya hasil uji pada parameter yang melebihi baku mutu
 F_3 (*Amplitude*) : Selisih hasil uji pada suatu parameter yang melebihi baku mutu
 1.732 : Nilai normalitas antara 0 sampai 100

C. Klasifikasi CCME-WQI

Tabel 3. Klasifikasi Status CCME-WQI (Tallar, 2024)

CCME-WQI	Kategori	Keterangan
>90 – 100	<i>Excellent</i> (Sangat Baik)	Kualitas air mencapai status idealnya jika tidak terpengaruh oleh pencemaran atau gangguan. Dalam kondisi ini, air mendekati keadaan aslinya yang murni dan alami. Indeks kualitas air mencapai nilai tertinggi ketika semua pengukuran parameter mutu air dilakukan secara konsisten dan bertujuan sama sepanjang waktu.
>79 – 94	<i>Good</i> (Baik)	Kualitas air terjaga dalam kondisi yang stabil, dengan tingkat pencemaran dan gangguan yang minimal. Jarang terjadi penyimpangan dari kondisi alami atau ambang batas yang aman.
>64 – 79	<i>Fair</i> (Cukup)	Kesehatan air umumnya terjaga, namun tak luput dari potensi bahaya dan pencemaran. Kadang kala kondisinya menyimpang dari standar alami atau ambang batas yang aman.
>44 – 64	<i>Marginal</i> (Buruk)	Kesehatan air di berbagai wilayah sering kali terancam dan mengalami gangguan. Kondisi air ini sering kali menyimpang dari tingkat alami dan ideal yang diharapkan.
0 - 44	<i>Poor</i> (Sangat Buruk)	Kesehatan air terus menerus terancam dan mengalami gangguan. Kondisi air ini umumnya menyimpang dari tingkat alami dan ideal yang diharapkan.

2.3.3 STORET

Metode *Storage and Retrieval* (STORET) merupakan salah satu pendekatan yang banyak digunakan di Indonesia dalam penentuan status mutu air. Penilaian mutu air dengan metode ini dilakukan melalui perbandingan antara data hasil pengukuran parameter kualitas air dan baku mutu yang ditetapkan sesuai dengan peruntukan perairan. Secara konseptual, penerapan metode STORET mengacu pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air, sedangkan penetapan baku mutu air sebagai dasar evaluasi kualitas air

saat ini disesuaikan dengan ketentuan terbaru yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Tujuan penerapan metode STORET adalah untuk menentukan status mutu air berdasarkan tingkat kesesuaian parameter kualitas air terhadap baku mutu yang berlaku. Sistem penilaian dalam metode ini mengacu pada standar US-EPA (*Environmental Protection Agency*), yang mengklasifikasikan mutu air ke dalam empat kategori (Swandani *et al.*, 2023).

Penentuan status mutu air menggunakan metode STORET dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data kualitas air secara periodik (minimal 2 seri data) sehingga terbentuk data runtun waktu (*time series*).
2. Menentukan nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari data kualitas air yang diperoleh.
3. Membandingkan hasil pengukuran setiap parameter kualitas air dengan nilai baku mutu air sesuai dengan kelas peruntukannya.
4. Memberikan skor 0 apabila hasil pengukuran memenuhi baku mutu air, yang ditunjukkan dengan nilai hasil pengukuran $<$ dari nilai baku mutu.
5. Apabila hasil pengukuran tidak memenuhi baku mutu air, yang ditunjukkan dengan nilai hasil pengukuran $>$ dari nilai baku mutu, maka diberikan skor sebagai berikut:

Tabel 4. Penentuan Sistem Nilai untuk Menentukan Status Mutu Air

Jumlah Contoh	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
<10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
>10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Catatan: Jumlah parameter yang digunakan untuk penentuan status mutu air

6. Menjumlahkan skor negatif dari seluruh parameter dan menentukan status mutu airnya berdasarkan Tabel 4.

Tabel 5. Klasifikasi Status Mutu Air Menurut US-EPA

Kelas	Kategori	Skor	Keterangan
Kelas A	Baik Sekali	0	Memenuhi Baku Mutu
Kelas B	Baik	-1 s/d -10	Tercemar Ringan
Kelas C	Sedang	-11 s/d -30	Tercemar Sedang
Kelas D	Buruk	$>$ -30	Tercemar Berat

2.4 Analisis Statistik

2.4.1 Standar Deviasi dan Standar Error

Standar deviasi adalah ukuran penyebaran data dalam suatu sampel untuk mengetahui seberapa jauh atau dekat nilai data dengan rata-ratanya. Standar deviasi merupakan

nilai akar kuadrat dari varians dan menunjukkan standar penyimpangan data terhadap nilai rata-ratanya (Swandani *et al.*, 2023).

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

Keterangan:

SD : Standar deviasi
 x_i : Data ke-i
 $\bar{x}$: Nilai rata-rata data
n : Jumlah data

Nilai standar deviasi yang kecil menunjukkan bahwa data cenderung mendekati nilai rata-rata sehingga variasinya rendah, sedangkan nilai standar deviasi yang besar menandakan penyebaran data yang luas. Dalam analisis kualitas air, standar deviasi digunakan untuk menggambarkan tingkat variasi atau fluktuasi parameter kualitas air pada suatu lokasi dan periode pengamatan tertentu.

Standar *error* adalah istilah statistik pengukuran ketepatan distribusi sampel yang mewakili suatu populasi dengan menggunakan standar deviasi. Ukuran statistik ini menunjukkan seberapa dekat nilai rata-rata populasi dengan nilai estimasi yang diperoleh dari rata-rata sampel (Swandani *et al.*, 2023).

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

Keterangan:

SE : Standar *Error*
SD : Standar Deviasi
n : Jumlah data

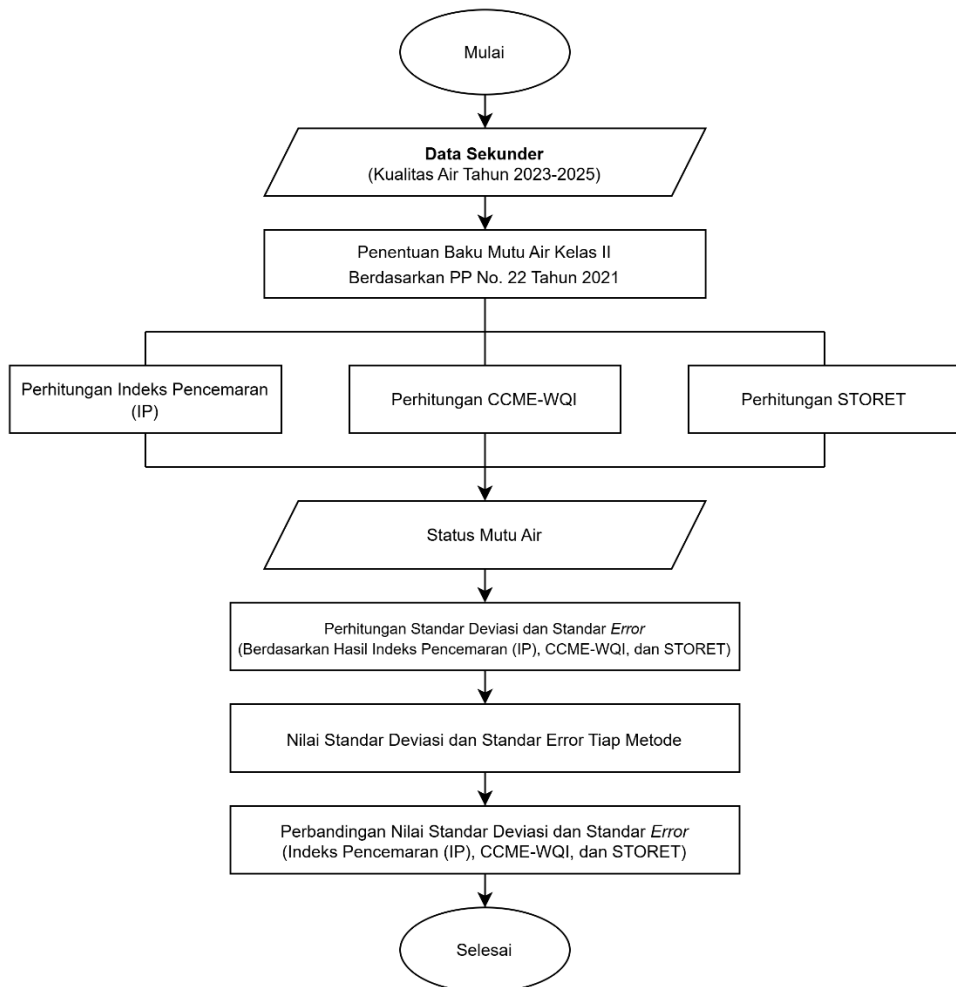
Nilai standar *error* yang kecil menunjukkan bahwa rata-rata sampel semakin mendekati nilai rata-rata populasi, sehingga tingkat ketepatan estimasi semakin baik. Dalam analisis kualitas air, standar *error* digunakan untuk menilai keandalan nilai rata-rata parameter kualitas air yang diperoleh dari data pengamatan.

Adapun tahapan pengolahan hasil metode Indeks Pencemaran (IP), CCME-WQI dan STORET menggunakan analisis standar deviasi dan standar *error* dilakukan sebagai berikut:

1. Pada tahap awal, hasil perhitungan metode Indeks Pencemaran (IP), CCME-WQI dan STORET dikelompokkan secara terpisah sebagai data pengamatan (x_i), kemudian ditentukan jumlah data (n) pada masing-masing metode.
2. Selanjutnya, dihitung nilai rata-rata ($\bar{x}$) untuk setiap metode dengan membagi jumlah seluruh data terhadap jumlah data (n).
3. Berikutnya, dihitung selisih antara setiap nilai data terhadap nilai rata-rata ($x_i - \bar{x}$) untuk mengetahui penyimpangan data.
4. Selisih tersebut kemudian dikuadratkan menjadi $(x_i - \bar{x})^2$.
5. Selanjutnya, seluruh nilai kuadrat selisih dijumlahkan sehingga diperoleh nilai $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$

6. Berdasarkan nilai tersebut, dihitung nilai standar deviasi untuk masing-masing metode.
7. Terakhir, nilai standar *error* dihitung berdasarkan nilai standar deviasi yang diperoleh pada setiap metode.

2.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian