



Kualitas Air Sungai Di Sulawesi Utara: *Systematic Literature Review* Ditinjau Dari Parameter Fisika, Kimia Dan Biologi

Yosia N. Wijaya^{a#}, Jessen G. Potalangi^{b##}

^aProgram Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^bProgram Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^ayosianicowijaya@unsrat.ac.id, ^bjessenpotalangi@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menilai kualitas air sungai di Sulawesi Utara dengan menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Studi ini mengevaluasi parameter fisika, kimia, dan biologi dari berbagai penelitian selama sepuluh tahun terakhir. Hasil kajian mengungkapkan bahwa kualitas air sungai di daerah ini mengalami penurunan akibat aktivitas manusia, seperti pembuangan limbah domestik, pertanian, dan industri. Dari aspek fisika, sebagian besar sungai masih memenuhi standar kualitas air Kelas III sesuai PP No. 22 Tahun 2021, meskipun beberapa sungai memiliki tingkat kekeruhan yang tinggi akibat sedimentasi dan aktivitas pertambangan. Dari aspek kimia, kadar BOD dan COD di beberapa sungai melebihi batas yang ditentukan, serta adanya kandungan logam berat seperti Pb dan Zn yang membahayakan ekosistem perairan. Dari aspek biologi, tingginya jumlah *Total Coliform* dan *Fecal Coliform* menunjukkan adanya pencemaran mikrobiologis yang serius. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan air yang lebih ketat, peningkatan kesadaran masyarakat, serta penerapan teknologi ramah lingkungan guna menjaga kelestarian sumber daya air.

Kata kunci: kualitas air sungai, Sulawesi Utara, pencemaran, parameter fisika-kimia-biologi, pengelolaan lingkungan

1. Pendahuluan

Sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki peran vital dalam menunjang kehidupan manusia, baik sebagai sumber air bersih, irigasi, perikanan, maupun aktivitas domestik lainnya (Naillah *et al.*, 2021). Namun, meningkatnya aktivitas manusia di sekitar daerah aliran Sungai (DAS) telah menyebabkan degradasi kualitas air akibat pencemaran dari limbah domestik, pertanian, dan industri (DIKPLHD, 2017). Penurunan kualitas air Sungai dapat dikategorikan berdasarkan parameter fisika, kimia, dan biologi. Parameter fisika seperti suhu dan *Total Suspended Solids* (TSS) berpengaruh terhadap kejernihan dan ekosistem perairan. Sementara itu, parameter kimia seperti pH, oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen biologis (BOD), dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD) sering digunakan untuk mengukur tingkat pencemaran akibat bahan organik dan anorganik yang masuk ke dalam perairan. Sedangkan dari aspek biologi, keberadaan bakteri *Coliform* menjadi indikator utama pencemaran mikrobiologis yang berdampak pada kesehatan masyarakat (Naillah *et al.*, 2021).

Sulawesi Utara sebagai wilayah dengan berbagai aktivitas industri, pertanian, dan pariwisata, menghadapi tantangan dalam menjaga kualitas air Sungai. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa beberapa Sungai di wilayah ini telah mengalami penurunan kualitas akibat meningkatnya limbah domestik dan pertanian yang masuk ke dalam perairan (Lacetera, 2019). Oleh karena itu, diperlukan kajian komprehensif yang dapat memberikan gambaran mengenai kondisi kualitas air Sungai serta tren pencemarannya dalam beberapa tahun terakhir. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan menjawab pertanyaan bagaimana kualitas air Sungai di Sulawesi Utara dan bagaimana metode analisis kualitas air yang paling umum digunakan dalam

studi-studi sebelumnya serta apa saja faktor utama yang mempengaruhi kualitas air di wilayah tersebut.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan penelitian *Systematic Literature Review*. Metodologi yang digunakan yaitu *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pencarian literatur yang digunakan yang sudah dipublikasikan di *database Scopus* dan *Google Scholar*. Kata kunci yang digunakan meliputi “Kualitas Air Sungai di Sulawesi Utara”, “Analisis Kualitas Air Sungai”, “River Water Quality in North Sulawesi”, dan “Analysis of Water Quality”. Pencarian artikel dibatasi 10 tahun terakhir dari tahun 2014 sampai 2024. Selanjutnya, tahap skrining dilakukan dengan mengevaluasi judul dan abstrak untuk menyaring artikel yang tidak relevan atau duplikasi. Pada tahap kelayakan, artikel diperiksa berdasarkan kriteria inklusi seperti tahun publikasi dalam rentang 2014 sampai 2024, relevansi dengan topik kualitas air Sungai di Sulawesi Utara, serta penggunaan parameter fisika, kimia, dan biologi dalam analisis kualitas air. Artikel yang tidak tersedia dalam *full-text* atau tidak memiliki metode pengukuran yang jelas akan dieliminasi. Artikel yang di peroleh setelah proses inklusi dan eksklusi sebanyak 15 artikel.

Setelah artikel yang memenuhi kriteria inklusi terkumpul, tahap sintesis data dilakukan untuk memungkinkan penyajian hasil penelitian secara deskriptif agar mampu mengidentifikasi tren pencemaran serta metode pemantauan kualitas air yang digunakan dalam studi-studi sebelumnya. Analisis dilakukan dengan mengelompokkan penelitian berdasarkan parameter kualitas air yang digunakan, yaitu fisika, kimia, dan biologi. Hasil sintesis ini diharapkan memberikan gambaran komprehensif mengenai kualitas air Sungai di Sulawesi Utara serta faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap pencemaran. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi perumusan strategi pengelolaan sumber daya air yang lebih berkelanjutan.

3. Hasil dan Pembahasan

Penulis menyajikan hasil pencarian literatur dari berbagai *database* dalam Tabel 1. Tabel ini memperlihatkan bahwa penelitian terdahulu telah mengkaji kualitas air di 14 Sungai yang terletak di Sulawesi Utara yaitu Sungai Bailang, Sungai Maasing (Lasut & Tarigan, 2014), Sungai Lowatag (Patty *et al.*, 2018), Sungai Malalayang (Kalembiro *et al.*, 2024), Sungai Nuangan (Tumbelaka *et al.*, 2023), Sungai Panasen (Rembet *et al.*, 2024), Sungai Poopoh (Sukiman *et al.*, 2021), Sungai Ranowangko (Tumanduk *et al.*, 2024), Sungai Salu Koya (Firdaus *et. al.* 2024), Sungai Sario (Tarima *et al.*, 2016; Takaendengan *et al.*, 2021), Sungai Talawaan (Pongoh *et. al.*, 2021), Sungai Tondano (Lasut & Tarigan, 2014; Markus *et al.*, 2024; Maddusa *et al.*, 2017), Sungai Toubeke (Kapoh *et al.*, 2024) dan Sungai Tougela (Wonggo *et al.*, 2024). Pada Sungai yang dijadikan objek studi, rentang suhu Sungai berkisar antara 26,5°C hingga 34,6°C dengan kekeruhan yang bervariasi. Pengukuran kualitas air Sungai yang dipantau meliputi Parameter Kimia yaitu BOD, COD, Total Fosfat, Nitrat, Nitrit, DO, pH, Salinitas serta logam berat (Merkuri, Timbal, Seng, Arsenik, Kadmium, Tembaga), Parameter Fisika yaitu TDS, TSS, suhu, kekeruhan dan warna, serta Parameter Biologi yaitu *Total Coliform* dan *Fecal Coliform* dengan metode melakukan uji laboratorium menggunakan berbagai metode seperti spektrofotometri, gravimetri, pH meter, dan MPN.

Kualitas air Sungai sangat dipengaruhi oleh pasokan air yang berasal dari daerah tangkapan air, di mana kondisi ini bergantung pada aktivitas manusia yang tinggal di sekitarnya. Perilaku masyarakat, seperti pembuangan sampah sembarangan, buang air besar di area terbuka, serta pembuangan limbah rumah tangga dan industri ke Sungai, menjadi faktor utama yang sering ditemukan dan berkontribusi terhadap pencemaran air Sungai. Secara umum, kualitas air mengacu pada karakteristik kimia, fisika, dan biologi suatu perairan, yang biasanya dikaitkan dengan kesesuaian untuk berbagai keperluan tertentu. Badan air dapat dimanfaatkan untuk kegiatan rekreasi, sumber air minum, perikanan, pertanian, maupun keperluan industri. Istilah kualitas air digunakan untuk menggambarkan kelayakan air dalam mendukung keberlanjutan berbagai aktivitas dan proses. Oleh karena itu, kualitas air Sungai memiliki dampak yang signifikan terhadap kehidupan manusia (Takaendengan *et al.*, 2021).

Air Sungai Kelas III (tiga) merupakan kategori air yang dapat digunakan untuk budidaya ikan air tawar, peternakan, irigasi tanaman, dan/atau keperluan lain yang memerlukan kualitas air setara dengan penggunaan tersebut (PP No. 22 Tahun 2021).

Tabel 1. Hasil Penelitian Terkait Kualitas Air Sungai di Sulawesi Utara

Penulis	Judul	Tahun	Nama Sungai	Parameter	Nilai Uji Parameter
Rembet <i>et al.</i>	Analisis Kualitas Air Di Sungai Panasen Akibat Lahan Persawahan Desa Panasen Kabupaten Minahasa	2024	Panasen	Kimia: BOD, COD, Total Fosfat	BOD: 1-3 mg/L COD: 4-14 mg/L Total Fosfat: 0,06-0,09 mg/L
Tumanduk <i>et al.</i>	<i>Water Quality of Ranowangko River That Crosses Tomohon City and Minahasa Regency, North Sulawesi Province</i>	2024	Rano-wangko	Fisika: TSS Biologi: <i>Total Coliform, Fecal Coliform</i>	TSS: 68-178 mg/L <i>Total Coliform:</i> 1.700-160.000 MPN/100mL <i>Fecal Coliform:</i> 1.700-17.000 MPN/100mL
Firdaus <i>et al.</i>	Analisis Kualitas Air Di Sungai Salu Koya Di Kecamatan Tondano Barat, Kabupaten Minahasa	2024	Salu Koya	Kimia: BOD, COD, Total Fosfat	BOD: 1-2 mg/L COD: <4 mg/L Total Fosfat: 0,15-0,26 mg/L
Wonggo <i>et al.</i>	Analisis Kualitas Air Di Hulu Dan Hilir Sungai Tougela Kelurahan Masarang Kabupaten Minahasa	2024	Tougela	Kimia: BOD, COD, Total Fosfat	BOD: 2 mg/L COD: <4 mg/L Total Fosfat: 0,6-0,9 mg/L
Kapoh <i>et al.</i>	Pengaruh Lahan Basah (<i>Wetland</i>) Terhadap Kualitas Air Di Sungai Toubeke Kelurahan Masarang, Kabupaten Minahasa	2024	Toubeke	Kimia: BOD, COD, Total Fosfat, Nitrat	BOD: 1 mg/L COD: <4-19 mg/L Total Fosfat: 0,2-0,7 mg/L Nitrat: 1 mg/L
Markus <i>et al.</i>	Analisis Kualitas Air Sungai Tondano Di Hulu Dan Hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan	2024	Tondano	Fisika: TSS Kimia: BOD, COD, DO	TSS: 4-9 mg/L BOD: 1,59-1,90 mg/L COD: <4 mg/L DO: 7,72-8,04 mg/L
Kalembiro <i>et al.</i>	Penanganan Pencemaran Akibat Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Air Sungai Malalayang Di Kelurahan Bahu Kota Manado	2024	Mala-layang	Fisika: TSS Kimia: BOD, COD, pH Biologi: <i>Total Coliform</i>	TSS: 3-11 mg/L BOD: 1-2 mg/L COD: 5,99-13 mg/L pH: 6,46-6,51 <i>Total Coliform:</i> 350-9.200 MPN/100mL
Tumbelaka <i>et al.</i>	Dampak Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Terhadap Kualitas Air Sungai Nuangan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur	2023	Nuangan	Fisika: TSS, TDS, Suhu, Kekeruhan Kimia: BOD, COD, DO, pH, Hg	TSS: 86,33-97,57 mg/L TDS: 230-360 mg/L Suhu: 27,70-31,30 °C Kekeruhan: 179,40-199,27 NTU BOD: 15,3-16,6 mg/L COD: 138,9-141,8 mg/L DO: 5,3-6 mg/L pH: 5,4-5,7 Hg: 0,00005 mg/L
Pongoh <i>et al.</i>	<i>The Study of River Water Quality in Water Pollution Control: Case Study of Talawaan River, North Minahasa District, North Sulawesi Province</i>	2021	Tala-waan	Fisika: TSS Kimia: BOD, COD	TSS: 10-24 mg/L BOD: 2 mg/L COD: 4-5 mg/L
Sukiman <i>et al.</i>	Analisis Kualitas Air Sungai Poopoh Kecamatan Tombariri Kabupaten Minahasa	2021	Poopoh	Fisika: TSS Kimia: BOD, DO, pH	TSS: 5-20 mg/L BOD: 1,8-26,95 mg/L DO: 1,62-7,51 mg/L pH: 6,94-7,98

Penulis	Judul	Tahun	Nama Sungai	Parameter	Nilai Uji Parameter
Madussa <i>et al.</i>	Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Zink (Zn) Dan Arsen (As) Pada Ikan Dan Air Sungai Tondano, Sulawesi Utara	2017	Tondano	Kimia: Hg, Pb, Zn, As	Hg: <0,0003 mg/L Pb: 0,09-0,14 mg/L Zn: 0,01-1,12 mg/L As: <0,0002-0,013 mg/L
Lasut & Tarigan	<i>Water quality status of rivers in the coastal city of Manado, North Sulawesi Province, Indonesia</i>	2014	Bailang	Fisika: Suhu Kimia: BOD, Total Fosfat, Nitrat, Salinitas Biologi: Total Coliform, Fecal Coliform	Suhu: 30,6-31,4 °C BOD: 0-2 mg/L Total Fosfat: 0,058-0,147 mg/L Nitrat: 0,103-0,522 mg/L Salinitas: 8-20 ppt Total Coliform: 690->2.420 MPN/100mL Fecal Coliform: 690->2.420 MPN/100mL
Lasut & Tarigan	<i>Water quality status of rivers in the coastal city of Manado, North Sulawesi Province, Indonesia</i>	2014	Maasing	Fisika: Suhu Kimia: BOD, Total Fosfat, Nitrat, Salinitas Biologi: Total Coliform, Fecal Coliform	Suhu: 32,2-34,7 °C BOD: 0-33 mg/L Total Fosfat: 0,023-2,640 mg/L Nitrat: 0,012-0,061 mg/L Salinitas: 1-27 ppt Total Coliform: >2.420 MPN/100mL Fecal Coliform: >2.420 MPN/100mL
Lasut & Tarigan	<i>Water quality status of rivers in the coastal city of Manado, North Sulawesi Province, Indonesia</i>	2014	Tondano	Fisika: Suhu Kimia: BOD, Total Fosfat, Nitrat, Salinitas Biologi: Total Coliform, Fecal Coliform	Suhu: 30-32,8 °C BOD: 2-7 mg/L Total Fosfat: 0,095-0,641 mg/L Nitrat: 0,253-0,379 mg/L Salinitas: 2 ppt Total Coliform: >2.420 MPN/100mL Fecal Coliform: >2.420 MPN/100mL
Patty <i>et al.</i>	Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara - Sulawesi Utara	2018	Lowatag	Kimia: Pb, Cd, Cu	Pb: <0,001-0,002 mg/L Cd: 0,0001-0,0002 mg/L Cu: <0,005 mg/L
Tarima <i>et al.</i>	Analisis Kualitas Air Sungai Sario Kecamatan Sario Manado Sulawesi Utara	2016	Sario	Fisika: Kekeruhan Kimia: BOD, COD, DO, pH, Nitrat, Nitrit	Kekeruhan: 1,1-12,7 NTU BOD: <2-15 mg/L COD: <10-68 mg/L DO: 1,99-7,42 mg/L pH: 7,17-7,92 Nitrat: 0,134-0,968 mg/L Nitrit: 0,002-0,061 mg/L
Takaen-dengan <i>et al.</i>	<i>Analysis Of Water Quality Of The Sario River</i>	2021	Sario	Fisika: TSS, Suhu, Kekeruhan, Warna Kimia: BOD, COD, pH Biologi: Total Coliform, Fecal Coliform	TSS: <1 mg/L Suhu: 26,5-26,8 °C Kekeruhan: 4,2 NTU Warna: Jernih BOD: <2-6 mg/L COD: <10-11 mg/L pH: 7,68-8,12 Total Coliform: >160.000 MPN/100mL Fecal Coliform: 54.000->160.000 MPN/100mL

3.1. Parameter Fisika

Parameter Fisika yang digunakan untuk menguji kualitas air Sungai pada penelitian-penelitian sebelumnya meliputi TSS, TDS, suhu, kekeruhan dan warna. TSS sering menjadi parameter fisika yang digunakan untuk menguji kualitas air. *Total Suspended Solids* (TSS) adalah

parameter utama dalam analisis kualitas air yang mengindikasikan jumlah partikel padat yang mengambang dalam air. Partikel tersebut dapat berupa tanah, debu, serta bahan organik dan anorganik yang tidak larut. Tingginya kadar TSS dapat berdampak pada ekosistem perairan dengan mengurangi kejernihan air, mengubah kondisi habitat akuatik, serta berisiko menutupi dasar perairan (Markus *et al.*, 2024). Berdasarkan hasil pengujian, kadar TSS pada Sungai Tondano, Sungai Malalayang, Sungai Talawaan, Sungai Poopoh dan Sungai Sario masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu 100 mg/L untuk air Sungai Kelas III (Markus *et al.*, 2024; Kalembiro *et al.*, 2024; Pongoh *et. al.*, 2021; Sukiman *et al.*, 2021; Takaendengan *et al.*, 2021). Kelas III merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi tanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut (PP No. 22 Tahun 2021). Sementara itu parameter TSS pada Sungai Ranowangko menunjukkan fluktuasi hasil pemantauan dengan nilai 68-178 mg/L melebihi baku mutu air yang dipersyaratkan. Kadar TSS yang tinggi di perairan umumnya dipicu oleh erosi tanah atau pengikisan permukaan yang masuk ke badan air. Fenomena ini mengindikasikan bahwa bagian tengah Sungai Ranowangko mengalami peningkatan sedimentasi selama musim hujan, yang berdampak pada peningkatan kekeruhan air dan terbentuknya endapan lumpur di wilayah tersebut (Tumanduk *et al.*, 2024). Berdasarkan laporan penelitian, hasil pengukuran TSS di perairan Sungai Nuangan berada dalam rentang 86,33–97,57 mg/L. Nilai TSS sejalan dengan meningkatnya tingkat kekeruhan, yang disebabkan oleh aktivitas penambangan emas yang sedang berlangsung saat pengambilan sampel. Kualitas perairan Sungai Nuangan, berdasarkan muatan tersuspensi, dapat dikategorikan sebagai kurang baik (Tumbelaka *et al.*, 2023).

Parameter fisika lain yang sering digunakan untuk menguji kualitas air adalah suhu. Suhu air sungai pada penelitian berkisar antara 26,5–34,7 °C (Tumbelaka *et al.*, 2023; Lasut & Tarigan, 2014; Takaendengan *et al.*, 2021). Variasi suhu air di perairan dipengaruhi oleh kondisi cuaca saat pengukuran, terutama ketika sinar matahari yang tinggi pada hari cerah meningkatkan suhu air. Di daerah tropis, suhu perairan yang berkisar antara 25–32 °C masih dianggap layak untuk keberlangsungan organisme akuatik (Tumbelaka *et al.*, 2023). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu air sungai berada dalam kisaran normal dan memenuhi baku mutu air (PP No. 22/2021 Kelas III) dengan batas deviasi 3°C dari kondisi alami. Oleh karena itu, suhu perairan di Sungai Nuangan masih sangat mendukung kelangsungan hidup organisme di dalamnya.

Berdasarkan hasil pengukuran, tingkat kekeruhan air Sungai berada dalam rentang 1,1 hingga 199,27 NTU. Salah satu penyebab utama tingginya kekeruhan di beberapa titik pengambilan sampel adalah adanya aktivitas penambangan emas tanpa izin (PETI) yang sedang berlangsung selama penelitian. Limbah dari kegiatan ini masuk ke dalam aliran sungai, menyebabkan peningkatan kekeruhan di berbagai lokasi. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tingkat kekeruhan air telah melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan dalam PP No. 82 Tahun 2001, yaitu 0,5 NTU, yang dapat berdampak negatif terhadap kehidupan dan pertumbuhan organisme akuatik. Temuan ini juga sejalan dengan pernyataan masyarakat sekitar yang mengungkapkan bahwa air sungai telah menjadi sangat keruh (Tumbelaka *et al.*, 2023).

Hasil pengukuran TDS dan warna hanya muncul 1 kali pada sungai Nuangan untuk TDS dan pada sungai Sario untuk warna. Pengukuran TDS di Sungai Nuangan menunjukkan bahwa nilainya bervariasi antara 254–360 mg/L. Hasil ini mengindikasikan bahwa kadar TDS di sungai tersebut masih berada dalam batas yang diperbolehkan yaitu 1.000 mg/L. Oleh karena itu, perairan Sungai Nuangan masih layak untuk mendukung aktivitas perikanan serta kehidupan organisme yang bergantung padanya (Tumbelaka *et al.*, 2023). Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa air di Sungai Sario terlihat bening sehingga masih dapat digunakan secara normal (Takaendengan *et al.*, 2021).

3.2. Parameter Kimia

Parameter kimia yang digunakan dalam penelitian sebelumnya untuk menguji kualitas air sungai mencakup berbagai aspek yaitu BOD, COD, Total Fosfat, Nitrat, Nitrit, DO, pH, Salinitas serta beberapa kandungan logam berat antara lain Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Zink (Zn), Arsenik (As), Kadmium (Cd), dan Tembaga (Cu). BOD sering menjadi parameter kimia yang digunakan untuk menguji kualitas air. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah parameter yang

menggambarkan kebutuhan oksigen terlarut bagi mikroorganisme, seperti bakteri *Coliform*, dalam proses dekomposisi bahan organik di kondisi aerobik. Jika kadar BOD dalam air tinggi, hal ini menunjukkan bahwa jumlah mikroorganisme di perairan tersebut juga tinggi (Naillah *et al.*, 2021). Berdasarkan hasil pengujian, nilai BOD pada Sungai Panasen, Sungai Salu Koya, Sungai Tougela, Sungai Toubeke, Sungai Tondano, Sungai Malalayang, Sungai Talawaan, dan Sungai Bailang memiliki nilai BOD 0-6 mg/L dimana masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu 6 mg/L untuk air Sungai Kelas III yang menunjukkan bahwa kebutuhan oksigen terlarut bagi mikroorganisme masih dalam batas normal yang berarti jumlah mikroorganisme di perairan Sulawesi Utara masih tergolong rendah (Rembet *et al.*, 2024; Firdaus *et. al.* 2024; Wonggo *et al.*, 2024; Kapoh *et al.*, 2024; Markus *et al.*, 2024; Kalembiro *et al.*, 2024; Pongoh *et. al.*, 2021; Lasut & Tarigan, 2014; Takaendengan *et al.*, 2021). Sementara itu di Sungai Nuangan, Sungai Poopoh, Sungai Maasing, dan Sungai Sario menunjukkan hasil pengujian nilai BOD yang cukup tinggi dengan nilai 0-33 mg/L. Kadar BOD yang tinggi kemungkinan besar disebabkan oleh tingginya jumlah bahan organik yang mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme. Sumber bahan organik ini tidak hanya berasal dari limbah, tetapi juga dari faktor lingkungan sekitar. Karena nilai BOD telah melampaui ambang batas (NAB), kondisi perairan sungai ini menjadi kurang optimal bagi kehidupan organisme akuatik. Tingginya konsentrasi BOD di sungai dapat memicu peningkatan jumlah mikroorganisme, termasuk bakteri patogen seperti *Escherichia coli* (*Fecal Coliform*), *Shigella*, dan *Salmonella*. Kadar BOD yang tinggi menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air, sehingga mendukung pertumbuhan bakteri. Dampaknya, sungai di bagian hilir berpotensi menjadi sumber penyebaran berbagai penyakit bagi manusia. (Tumbelaka *et al.*, 2023; Pongoh *et. al.*, 2021; Lasut & Tarigan, 2014; Tarima *et al.*, 2016).

Salah satu parameter kimia lain yang kerap digunakan dalam pengujian kualitas air adalah COD. Kebutuhan oksigen kimia (COD) adalah parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan pencemar dalam air melalui proses kimiawi. Secara lebih spesifik, COD mengukur kadar oksigen yang diperlukan untuk mengurai senyawa kimia di dalam air menggunakan reaksi oksidasi kuat, biasanya dalam lingkungan asam dengan bantuan oksidator seperti kalium dikromat (Rembet *et al.*, 2024). Berdasarkan hasil pengujian, Nilai COD di Sungai Panasen, Sungai Sulu Koya, Sungai Tougela, Sungai Toubeke, Sungai Tondano, Sungai Malalayang, dan Sungai Talawaan memiliki konsentrasi nilai <4-19 mg/L dimana masih berada pada batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 40 mg/L. Sementara nilai COD di Sungai Nuangan dan Sario memiliki nilai <10-141,8 mg/L dimana melebihi nilai ambang batas COD baku mutu air sungai untuk kelas III. Peningkatan kadar COD di perairan sungai kemungkinan besar dipengaruhi oleh tingginya aktivitas masyarakat yang berlangsung di dalam serta di sekitar sungai (Tumbelaka *et al.*, 2023; Tarima *et al.*, 2016).

Oksigen terlarut (DO) digunakan untuk menilai kualitas air di Sungai Tondano, Sungai Nuangan, Sungai Poopoh dan Sungai Sario. Kadar oksigen terlarut (DO) dalam air menunjukkan jumlah oksigen yang tersedia bagi organisme perairan untuk proses pernapasan. DO menjadi indikator penting dalam menilai keseimbangan ekosistem akuatik. Jika kadar DO tinggi, maka kondisi air lebih mendukung kehidupan organisme perairan, sedangkan kadar yang rendah dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti eutrofikasi. Sesuai dengan standar kualitas air dalam PP Nomor 22 Tahun 2021, air kelas III harus memiliki kadar DO minimal 3 mg/L agar tetap layak bagi kehidupan akuatik. Nilai DO pada Sungai Tondano, Sungai Nuangan, Sungai Poopoh dan Sungai Sario berada pada 1,62-8,04 mg/L (Markus *et al.*, 2024; Tumbelaka *et al.*, 2023; Sukiman *et al.*, 2021; Tarima *et al.*, 2016). Peningkatan kadar DO terjadi karena tingginya tingkat kecerahan air, memungkinkan cahaya matahari menembus perairan dan mempercepat proses fotosintesis. Sebaliknya, kadar DO yang rendah disebabkan oleh lambatnya arus air, yang menghambat masuknya oksigen dari pergerakan air (Tumbelaka *et al.*, 2023).

Parameter kimia lain yang sering digunakan dalam penelitian-penelitian sebelumnya yaitu Kadar Total Fosfat. Salah satu parameter pencemar yang dapat memicu eutrofikasi di badan air adalah total fosfat. Kenaikan kadar fosfat disebabkan oleh meningkatnya beban pencemar yang masuk ke dalam perairan. Sumber utama fosfat dalam air meliputi pupuk, limbah peternakan, deterjen buatan, dan aktivitas industri. Selain itu, kandungan fosfor juga dapat berasal dari erosi batuan di sekitar sungai akibat arus air yang kemudian mengalami sedimentasi (Rembet *et al.*, 2024). Berdasarkan hasil penelitian yang ada, Kadar Total Fosfat pada Sungai Panase, Sungai

Salu Koya, Sungai Tougela, Sungai Toubake, Sungai Bailang, Sungai Maasing, dan Sungai Tondano memiliki nilai 0,023-0,9 mg/L dimana nilai tersebut masih berada pada batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 1 mg/L (Rembet *et al.*, 2024; Firdaus *et al.* 2024; Wonggo *et al.*, 2024; Kapoh *et al.*, 2024; Lasut & Tarigan, 2014). Sementara itu Nilai Total Fosfat di Sungai Maasing memiliki nilai 0,023-2,640 mg/L dimana nilai tersebut sudah melebihi batas baku mutu air sungai (Lasut & Tarigan, 2014).

Untuk parameter pH pada Sungai Malalayang, Sungai Poopoh, dan Sungai Sario memiliki nilai 6,46-8,12 dimana nilai tersebut masih berada di bawah nilai ambang batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 6-9 (Kalembiro *et al.*, 2024; Sukiman *et al.*, 2021; Tarima *et al.*, 2016; Takaendengan *et al.*, 2021). Sementara nilai pH untuk Sungai Nuangan memiliki nilai pH 5,4-5,7. Nilai pH Sungai Nuangan berada di bawah batas standar yang telah ditetapkan. Faktor utama yang menyebabkan rendahnya pH adalah tingginya tingkat kekeruhan, serta berbagai aktivitas manusia di sekitar sungai, termasuk pemukiman, yang berpotensi menurunkan pH air. Keberadaan senyawa asam dalam air semakin memperburuk kondisi ini, sehingga nilai pH yang rendah di Sungai Nuangan tidak optimal bagi kehidupan organisme perairan (Tumbelaka *et al.*, 2023).

Parameter kimia selanjutnya yang digunakan untuk menilai kualitas air sungai yaitu kadar Nitrat dan Nitrit. Nilai kandungan Nitrat pada Sungai Toubake, Sungai Bailang, Sungai Maasing, Tondano, dan Sungai Sario berada pada nilai 0,012-1 mg/L dimana nilai tersebut masih berada di bawah nilai ambang batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 20 mg/L (Kapoh *et al.*, 2024; Lasut & Tarigan, 2014; Tarima *et al.*, 2016). Kandungan nitrogen yang terdeteksi dalam air sungai menjadi indikator adanya pencemaran nitrat di area sekitar sungai. Sumber nitrogen dalam air berasal dari berbagai aktivitas manusia yang menghasilkan limbah, seperti limbah industri, kotoran hewan, limbah pertanian, dan emisi kendaraan bermotor. Faktor-faktor ini berperan dalam proses pembentukan nitrat di perairan. Dengan demikian, perbedaan kadar nitrat di sungai dapat disebabkan oleh tingkat aktivitas manusia yang bervariasi di wilayah tersebut (Kapoh *et al.*, 2024). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar nitrit di Sungai Sario tidak melebihi standar baku mutu air. Dengan demikian, aktivitas pertanian dan peternakan di sekitar kawasan tersebut tidak berpengaruh terhadap kualitas air sungai (Tarima *et al.*, 2016).

Selanjutnya, parameter kadar logam berat juga digunakan untuk mengetahui pencemaran logam berat di perairan sungai yang ada di Sulawesi Utara. Parameter pengujian kadar logam berat Merkuri (Hg) digunakan di Sungai Nuangan dan Sungai Tondano dengan nilai kadar Hg 0,00005- $<0,0003$ mg/L dimana nilai tersebut masih berada di bawah nilai ambang batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 0,002 mg/L. Meskipun demikian, keberadaan logam berat di lingkungan tetap perlu diwaspadai karena sifatnya yang dapat terakumulasi dalam tubuh manusia, terutama jika air tersebut dikonsumsi (Tumbelaka *et al.*, 2023; Maddusa *et al.*, 2017). Parameter pengujian kadar logam berat Timbal (Pb) digunakan di Sungai Lowatag dengan nilai kadar Pb $<0,001$ -0,002 mg/L dimana nilai tersebut masih berada di bawah nilai ambang batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 0,03 mg/L (Patty *et al.*, 2018). Sementara itu nilai kadar Pb di Sungai Tondano 0,09-0,14 mg/L, nilai ini berada di atas nilai ambang batas baku mutu air sungai untuk kelas III. Tingginya kadar Pb di Sungai Tondano ini akibat adanya pemukiman di hilir yang membuang limbah ke sungai. Selain itu, aktivitas perbengkelan turut menyumbang tingginya kadar Pb. Timbal atau Pb yang bertahan lama di lingkungan akan mengalami pembusukan dan bersifat asam. Pembuangan limbah rumah tangga juga menjadi faktor yang menyebabkan peningkatan kadar Pb di sungai (Maddusa *et al.*, 2017). Parameter logam berat lain yang perlu diperhatikan yaitu Zink (Zn) dan Arsen (As). Hasil pengujian Zn pada Sungai Tondano menunjukkan nilai 0,01-1,12 mg/L dimana nilai ini berada di atas nilai ambang batas baku mutu yaitu 0,05 mg/L. Peningkatan kadar Zn dalam air sungai disebabkan oleh limbah yang dibuang oleh. Selain itu, penggunaan pupuk dan pestisida dalam sektor pertanian yang mengandung Zn menyebabkan kenaikan kadar unsur ini secara signifikan. Faktor lain yang turut berkontribusi terhadap meningkatnya kadar Zn di sungai adalah pembuangan limbah rumah tangga (Maddusa *et al.*, 2017). Di samping itu, hasil pengujian As pada Sungai Tondano menunjukkan nilai $<0,0002$ -0,013 mg/L dimana nilai ini berada di bawah nilai ambang batas baku mutu yaitu 0,05 mg/L (Maddusa *et al.*, 2017). Di Sungai Lowatag juga dilakukan pengujian kadar logam berat Kadmium (Cd) dan Tembaga (Cu). Hasil pengujian kadar Cd dengan nilai 0,0001-0,0002 mg/L, dimana nilai tersebut masih berada di bawah nilai ambang

batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 0,01 mg/L. Sedangkan hasil pengujian kadar Cu dengan nilai <0,005 mg/L, dimana nilai tersebut masih berada di bawah nilai ambang batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 0,02 mg/L (Patty *et al.*, 2018).

Tingkat salinitas menjadi faktor pembeda antara perairan sungai dan pantai, di mana perairan sungai memiliki salinitas rendah yang meningkat mendekati muara. Peningkatan kadar salinitas ini menjadi ciri khas dari perairan muara. Parameter salinitas pada Sungai Bailang dan Sungai Maasing memiliki nilai 1-27 ppt. Tingkat salinitas sedang ini menandakan lokasi penelitian berada mendekati muara laut. Sedangkan parameter salinitas pada Sungai Tondano memiliki nilai 2 ppt, tingkat salinitas sedang ini menandakan lokasi penelitian berada jauh dari muara laut (Lasut & Tarigan, 2014).

3.3. Parameter Biologi

Indikator mikrobiologi seperti *Total Coliform* dan *Fecal Coliform* digunakan dalam pengukuran kualitas air sampel. Parameter *Total Coliform* digunakan untuk mengukur kualitas air pada Sungai Ranowangko, Sungai Malalayang, Sungai Bailang, Sungai Maasing, Sungai Tondano, dan Sungai Sario. Nilai *Total Coliform* pada sungai Sungai Malalayang, Sungai Bailang, Sungai Maasing, dan Sungai Tondano menunjukkan nilai 690-9.200 MPN/100mL dimana nilai ini masih berada di bawah baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 yang ditetapkan yaitu 10.000 MPN/100 mL untuk kategori kelas III (Kalembiro *et al.*, 2024; Lasut & Tarigan, 2014). Sedangkan nilai *Total Coliform* di Sungai Ranowangko dan Sario menunjukkan nilai 1.700-160.000 MPN/100 mL dimana nilai ini sudah melewati baku mutu yang ada. Hal ini disebabkan *Total Coliform* terbentuk dari *E. Coli* yang bersumber dari kotoran manusia dan hewan, serta *Coliform* non-fecal yang dihasilkan dari pembusukan tumbuhan dan bangkai hewan (Tumanduk *et al.*, 2024). Selain itu nilai ini mengindikasikan bahwa masyarakat di sekitar bantaran sungai masih memanfaatkan aliran sungai untuk membuang limbah manusia, yang mencerminkan rendahnya kesadaran akan kebersihan lingkungan (Takaendengan *et al.*, 2021).

Parameter biologi selanjutnya yaitu *Fecal Coliform* yang digunakan pada uji kualitas air di Sungai Ranowangko, Sungai Bailang, Sungai Maasing, Sungai Tondano, dan Sungai Sario yang menunjukkan nilai 690-160.000 MPN/100mL dimana nilai ini sudah melewati baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 yang ditetapkan yaitu 2.000 MPN/100 mL untuk kategori kelas III (Tumanduk *et al.*, 2024; Lasut & Tarigan, 2014; Takaendengan *et al.*, 2021). Keberadaan bakteri patogen, termasuk *E. Coli*, di perairan menjadi indikasi bahwa limbah cair dari jamban telah mencemari badan air. Ditemukannya bakteri patogenik pada seluruh sampel membuktikan bahwa di sungai tersebut telah menerima limbah domestik. Kondisi ini terjadi karena sungai-sungai tersebut melintasi kawasan permukiman di pusat kota (Lasut & Tarigan, 2014) dan Angka ini mengindikasikan bahwa tingkat kesadaran warga di sekitar bantaran sungai masih rendah, terlihat dari kebiasaan mereka yang masih membuang limbah manusia ke dalam aliran sungai (Takaendengan *et al.*, 2021).

Kesimpulan

Penelitian ini mengevaluasi kualitas air sungai di Sulawesi Utara menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review*. Hasil analisis terhadap parameter fisika, kimia, dan biologi menunjukkan bahwa beberapa sungai mengalami degradasi akibat aktivitas antropogenik. Dari aspek fisika, sebagian besar sungai masih memenuhi baku mutu Kelas III sesuai PP No. 22 Tahun 2021, kecuali Sungai Ranowangko dan Sungai Nuangan yang memiliki kadar TSS tinggi akibat sedimentasi dan aktivitas pertambangan. Dari parameter kimia, nilai BOD dan COD di beberapa sungai melampaui ambang batas, terutama di daerah dengan limpasan limbah domestik dan pertanian. Kandungan Pb dan Zn di Sungai Tondano juga melebihi baku mutu, berisiko bagi ekosistem dan kesehatan masyarakat. Dari segi biologi, bakteri *Coliform* di Sungai Sario dan Ranowangko jauh melampaui ambang batas, mengindikasikan pencemaran mikrobiologis akibat limbah domestik yang tidak terkelola.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa aktivitas manusia, seperti pembuangan limbah domestik, pertanian, dan pertambangan, merupakan faktor utama yang

mempengaruhi kualitas air sungai di Sulawesi Utara. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan pengelolaan sumber daya air yang lebih ketat, peningkatan kesadaran masyarakat, serta implementasi teknologi ramah lingkungan untuk menjaga keberlanjutan kualitas air sungai. Sebagai tindak lanjut, penelitian lebih lanjut dapat difokuskan pada pemetaan risiko pencemaran di setiap daerah aliran sungai serta pengembangan metode pengolahan limbah yang lebih efektif guna memitigasi dampak negatif terhadap ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat.

Referensi

- DIKPLHD. (2017). Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Firdaus, Hendratta, L. A., & Legrans, R. R. (2024). Analisis Kualitas Air Di Sungai Salu Koya Di Kecamatan Tondano Barat, Kabupaten Minahasa. *TEKNO*, 22(89), 1553-1558.
- Kalembiro, E. C., Rondonuwu, S. G., & Riogilang, H. (2024). Penanganan Pencemaran Akibat Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Air Sungai Malalayang Di Kelurahan Bahu Kota Manado. *TEKNO*, 22(87), 243-250.
- Kapoh, K. R., Hendratta, L. A., & Legrans, R. R. (2024). Pengaruh Lahan Basah (Wetland) Terhadap Kualitas Air Di Sungai Toubeke Kelurahan Masarang, Kabupaten Minahasa. *TEKNO*, 22(89), 1683-1689.
- Lacetera, N. (2019). Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers*, 9(1), 26-31. <https://doi.org/10.1093/af/vfy030>
- Lasut, M. T., & Tarigan, A. (2014). Water quality status of rivers in the coastal city of Manado, North Sulawesi Province, Indonesia. *AQUATIC SCIENCE & MANAGEMENT*. (2).
- Maddusa, S. S., Paputungan, M. G., Syarifuddin, A. R., Maambuat, J., & Alla, G. (2017). Kandungan logam berat timbal (Pb), merkuri (Hg), zink (Zn) dan arsen (As) pada ikan dan air Sungai Tondano, Sulawesi Utara. *Al-Sihah: The Public Health Science Journal*.
- Markus, A. P., Mangangka, I. R., & Legrans, R. R. (2024). Analisis Kualitas Air Sungai Tondano Di Hulu Dan Hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan. *TEKNO*, 22(89), 1699-1707.
- Naillah, A., Budiarti, L. Y., & Heriyani, F. (2021). Literature review: Analisis kualitas air Sungai dengan tinjauan parameter pH, suhu, BOD, COD, DO terhadap *Coliform*. *Homeostasis*, 4(2), 487-494.
- Universitas Lambung Mangkurat.
- Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Pelindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Nurhidayah, A. F., Syamsuddin, S., Hasrin, H., & Hasman, H. (2024). Dampak perubahan iklim terhadap kualitas udara pada peternakan unggas: Systematic Literature Review. *Jurnal Peternakan Terapan (PETERPAN)*, 6(1), 22-28. Universitas Hasanuddin.
- Patty, J. O., Siahaan, R., & Maabuat, P. V. (2018). Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara-Sulawesi Utara (The Occurrence of Heavy Metals (Pb, Cd, Cu, Zn) on Water and Sediment in the River Lowatag, Southeast Minahasa-North Sulawesi). *Jurnal Bios Logos*, 8(1).
- Pongoh, A. W., Putra, F., & Soemarno (2021). The study of river water quality in water pollution control: case study of Talawaan River, North Minahasa District, North Sulawesi Province. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 5(2), 72-80.
- Rembet, R. F., Hendratta, L. A., & Legrans, R. R. (2024). Analisis Kualitas Air Di Sungai Panasen Akibat Lahan Persawahan Desa Panasen Kabupaten Minahasa. *TEKNO*, 22(89), 1533-1542.
- Sukiman, M. E. P., Tendean, M., & Sulastriningsih, S. (2021). Analisis Kualitas Air Sungai Poopoh Kecamatan Tombariri Kabupaten Minahasa. *GEOGRAPHIA: Jurnal Pendidikan dan Penelitian Geografi*, 2(1), 62-67.
- Takaendengan, T., Tombokan, F., & Petrus, F. (2021), Analysis Of Water Quality Of The Sario River. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 8(12).
- Tarima, G. C., Abidjulu, J., & Koleangan, H. S. (2016). Analisis kualitas air Sungai Sario Kecamatan Sario Manado Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Sains*, 19-23.
- Tumanduk, Y. Y., Naharia, O., Sumampouw, H. M., Ogi, N. L., Gedoan, S. P., & Mokosuli, Y. S. (2024). Water Quality of Ranowangko River That Crosses Tomohon City and Minahasa Regency, North Sulawesi Province. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1), 204-212.
- Tumbelaka, G. G., Manganka, I. R., & Pratasik, P. A. (2023). Dampak Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Terhadap Kualitas Air Sungai Nuangan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur. *TEKNO*, 21(85), 1517-1523.
- Wonggo, B. A., Hendratta, L. A., & Legrans, R. R. (2024). Analisis Kualitas Air Di Hulu Dan Hilir Sungai Tougela Kelurahan Masarang Kabupaten Minahasa. *TEKNO*, 22(89), 1591-1597.