



## Analisis Kualitas Air Sungai Tondano Di Hulu Dan Hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan

Athalia P. P. Markus<sup>#a</sup>, Isri R. Mangangka<sup>#b</sup>, Roski R. I. Legrans<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia,  
<sup>a</sup>athaliemarkus027@student.unsrat.ac.id, <sup>b</sup>isri.mangangka@unsrat.ac.id, <sup>c</sup>legransroski@unsrat.ac.id

### Abstrak

Sungai Tondano merupakan salah satu sungai utama di Provinsi Sulawesi Utara, yang memiliki peran penting sebagai sumber air bagi keperluan domestik, irigasi, dan industri. Sungai ini mengalir melalui Bendungan Kuwil Kawangkoan, yang berfungsi untuk mengendalikan banjir, menyediakan air baku, dan menghasilkan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air Sungai Tondano di tiga titik, yaitu di hulu, area bendungan, dan hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Dissolved Oxygen (DO), dan Total Suspended Solid (TSS) untuk menentukan perubahan kualitas air di lokasi-lokasi tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air di hilir mengalami sedikit penurunan dibandingkan dengan hulu, terutama pada parameter BOD dan TSS. Namun, nilai COD tetap rendah di seluruh titik, menunjukkan rendahnya polutan kimia. Berdasarkan hasil ini, strategi pengelolaan kualitas air direkomendasikan, termasuk pengendalian pencemaran dari limbah domestik dan industri serta pemantauan kualitas air secara berkelanjutan.

*Kata kunci: Bendungan Kuwil Kawangkoan, kualitas air sungai, BOD, COD, DO, TSS*

### 1. Pendahuluan

Air merupakan elemen penting bagi kehidupan di bumi, termasuk bagi manusia, ekosistem, dan aktivitas ekonomi seperti pertanian dan industri. Menurut Asori dkk. (2015), air tidak hanya digunakan untuk konsumsi sehari-hari manusia tetapi juga berperan dalam berbagai proses ekosistem, industri, dan pertanian. Kualitas air sungai merupakan aspek krusial dalam menentukan kesehatan ekosistem dan keberlanjutan berbagai aktivitas manusia. Sungai Tondano di Sulawesi Utara merupakan salah satu sumber daya air yang sangat penting, mendukung kebutuhan domestik, pertanian, dan industri di sekitarnya. Dengan adanya Bendungan Kuwil Kawangkoan yang terletak di sungai ini, terdapat kemungkinan perubahan kualitas air yang signifikan baik di hulu, area bendungan, maupun hilir bendungan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis menyeluruh terhadap kualitas air di tiga lokasi utama sepanjang Sungai Tondano: hulu bendungan, area bendungan, dan hilir bendungan.

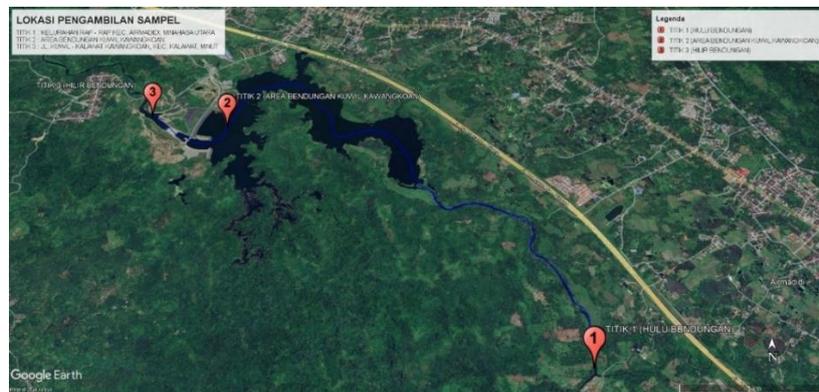
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air Sungai Tondano di tiga lokasi utama: hulu, area bendungan, dan hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan Untuk mengukur dampak bendungan terhadap kualitas air, digunakan empat parameter utama: BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), DO (Dissolved Oxygen), dan TSS (Total Suspended Solids). BOD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik, COD mengukur oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi kimia, DO menunjukkan kadar oksigen terlarut dalam air, dan TSS mengukur partikel tersuspensi dalam air. Penelitian ini memiliki relevansi yang tinggi karena dapat memberikan kontribusi dalam upaya pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan.

## 2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan di 3 (tiga) titik yang merupakan titik pengambilan sampel yang berlokasi di hulu Bendungan Kuwil, area Bendungan Kuwil dan hilir Bendungan Kuwil. Penentuan titik pengambilan sampel berdasarkan kemudahan akses, biaya dan waktu dalam prosesnya sehingga ditentukan titik-titik yang diharapkan dapat mewakili air sungai Tondano. Berikut merupakan lokasi titik pengambilan sampel.

- a. Titik 1 (Hulu Bendungan Kuwil)  
Pengambilan sampel titik 1 berlokasi di Jl. Tol Manado – Bitung, Rap-Rap, Kec. Airmadidi, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. Koordinat titik di  $1^{\circ}25'16''\text{N}$   $124^{\circ}57'30''\text{E}$ .
- b. Titik 2 (Area Bendungan Kuwil)  
Pengambilan sampel titik 2 berlokasi di area Bendungan Kuwil Kawangkoan yang dimana bendungan ini menerima aliran dari Sungai Tondano dan juga anak – anak sungai lainnya. Koordinat titik di  $1^{\circ}26'28''\text{N}$   $124^{\circ}55'59''\text{E}$ .
- c. Titik 3 (Hilir Bendungan Kuwil)  
Pengambilan sampel titik 3 berlokasi di hilir Bendungan Kuwil atau sesudah spillway. Koordinat titik di  $1^{\circ}26'33''\text{N}$   $124^{\circ}55'38''\text{E}$ .

Lokasi – lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengambilan sampel air menggunakan metode grab sampling, di mana sampel air diambil langsung dari tiga titik penelitian lalu diuji ke Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Manado. Sedangkan data sekunder diperoleh dari studi literatur, jurnal ilmiah, laporan teknis, serta Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang menjadi dasar baku mutu air sungai dalam penelitian ini.

Data dari hasil pengambilan sampel air akan di uji dan analisa berdasarkan parameter BOD (Biochemical Oxygen Demand) , COD (Chemical Oxygen Demand), DO (Disolved Oxygen) dan TSS (Total Suspended Solid) serta dikaji berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Berikut Analisa pengujian air Sungai Tondano dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode Pengujian

Parameter	Metode Uji	Standar Baku Mutu Air berdasarkan PP No.22 Tahun 2021
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	SNI 6989.72:2009	6 s/d 9
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	IK – 1.17 (Spektrofotometri)	10
Oksigen Terlarut (DO)	SNI 06-6989.14-2004	6
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	SNI 6989.3:2019	40

Metode uji nilai BOD (Biochemical Oxygen Demand) sesuai dengan SNI 6989.72:2009 mencakup beberapa langkah yang harus diikuti secara rinci untuk mendapatkan hasil yang akurat dan konsisten.

$$\text{Efektivitas Nilai } BOD^{-5} = \frac{(\text{Kadar } BOD \text{ Awal} - \text{Kadar } BOD \text{ Akhir})}{\text{Kadar } BOD \text{ Akhir}} \times 100\%$$

Metode uji nilai Chemical Oxygen Demand (COD) menggunakan instruksi kerja IK-1.17 dengan spektrofotometri adalah metode yang digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam sampel air.

$$\text{Efektivitas Nilai COD} = \frac{(\text{Kadar } COD \text{ Awal} - \text{Kadar } COD \text{ Akhir})}{\text{Kadar } COD \text{ Akhir}} \times 100\%$$

Metode pengujian sampel DO (*Dissolved Oxygen* atau Oksigen Terlarut) menggunakan SNI 06-6989.14-2004. Kadar DO dihitung dengan menggunakan rumus berdasarkan volume titrasi dan volume sampel. Formula umum untuk perhitungan adalah :

$$DO \text{ (mg/L)} = \frac{V_T \times N_T \times 8.00 \times 1000}{V_S \times V_S}$$

Nilai Total Suspended Solid (TSS) diuji menggunakan metode SNI 6989.3:2019. Hitung berat total partikel padat (TSS) dengan mengurangi berat filter kering dari berat filter yang telah dikumpulkan partikel padat:

$$\text{Berat Partikel Padat} = W2 - W1$$

Hitung konsentrasi TSS dalam sampel air dengan menggunakan volume sampel yang telah diambil. Misalkan volume sampel adalah V liter, maka:

$$TSS(\text{mg/L}) = \frac{\text{Berat Partikel Padat (mg)}}{V(L)}$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

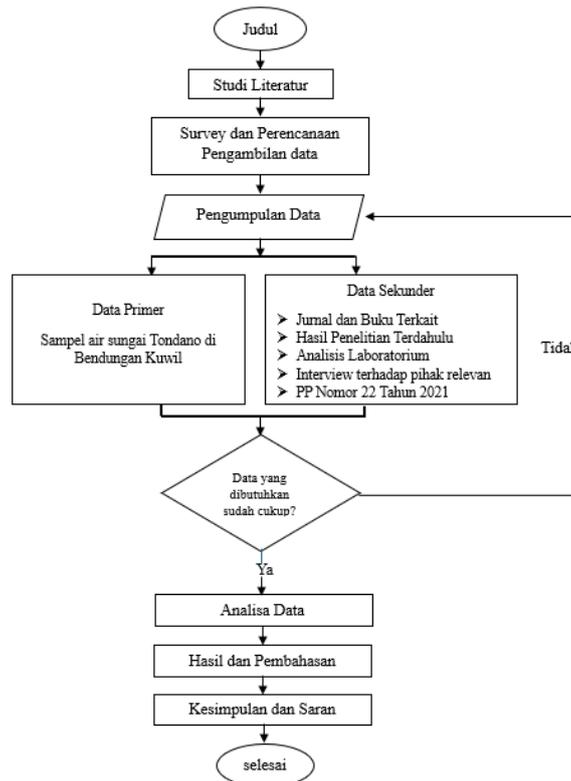
Kualitas air Sungai Tondano dianalisa berdasarkan baku mutu air kelas 1 menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Parameter yang diuji ialah Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), DO (*Dissolved Oxygen*), dan Total Suspended Solid (TSS). Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Mei 2024 dan analisa sampel dilakukan pada bulan Juni 2024. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

#### 3.1 Analisis Kualitas Air Sungai

Berikut merupakan hasil uji laboratorium kualitas air Sungai Tondano yang dikaji berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Baku Mutu Air Sungai dan Sejenisnya Kelas 1.

**Tabel 2.** Hasil Analisis Kualitas Air Sungai Tondano

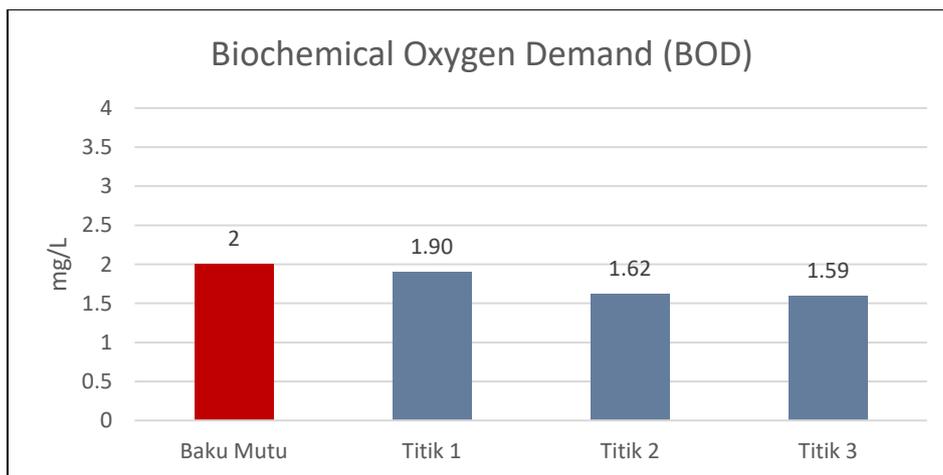
Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisis			Metode Uji
			Titik 1 (Hulu Bendungan)	Titik 2 (Area Bendungan)	Titik 3 (Hilir Bendungan)	
BOD	mg/L	2	1,90	1,62	1,59	SNI 6989.72:2009
COD	mg/L	10	<4	<4	<4	IK – 1.17 (Spektrofotometri)
DO	mg/L	6	7,97	8,04	7,72	SNI 06-6989.14-2004
TSS	mg/L	40	8	6	4	SNI 6989.3:2019



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) adalah ukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air. Nilai BOD yang lebih rendah menunjukkan kualitas air yang lebih baik karena sedikit bahan organik yang memerlukan oksigen untuk dekomposisi. Berdasarkan standar baku mutu air PP Nomor 22 Tahun 2021, untuk kelas 1 (air yang dapat digunakan sebagai sumber air baku untuk air minum), batas maksimum BOD adalah 2 mg/L.



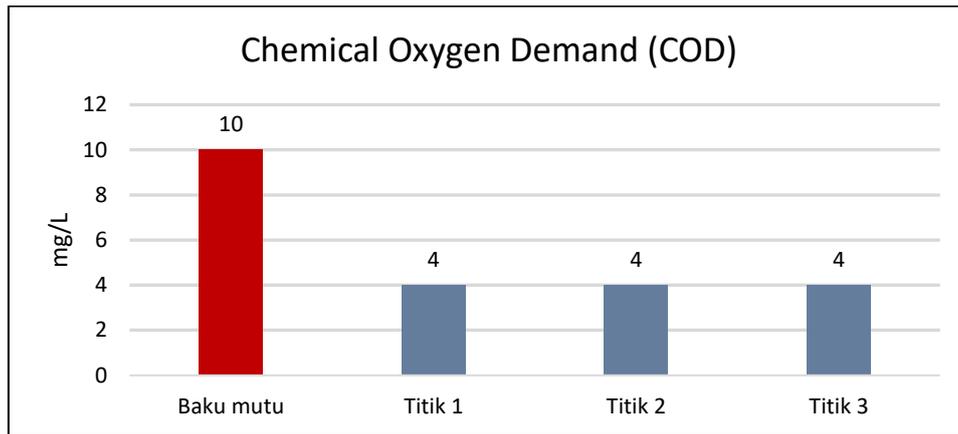
**Gambar 3.** Hasil Analisa Parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil pengujian BOD di tiga titik bendungan menunjukkan kadar sebagai berikut: 1,90 mg/L di Titik 1 (Hulu Bendungan), 1,62 mg/L di Titik 2 (Area Bendungan), dan 1,59 mg/L di Titik 3 (Hilir Bendungan), dengan baku mutu maksimum yang ditetapkan sebesar 2 mg/L. Penurunan BOD yang teramati dari hulu ke hilir menunjukkan bahwa kualitas air berubah di sepanjang aliran bendungan dan efek dari proses

alami seperti mendekomposisi bahan organik dan pengendapan.

### 3.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah ukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan kimia organik dan anorganik dalam air. COD memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang total polusi dalam air, termasuk bahan kimia yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. COD sering kali lebih tinggi daripada BOD karena mencakup semua zat yang dapat dioksidasi, bukan hanya bahan organik yang dapat diuraikan secara biologis. Standar baku mutu air PP Nomor 22 Tahun 2021 untuk kelas 1 menetapkan batas maksimum COD sebesar 10 mg/L.

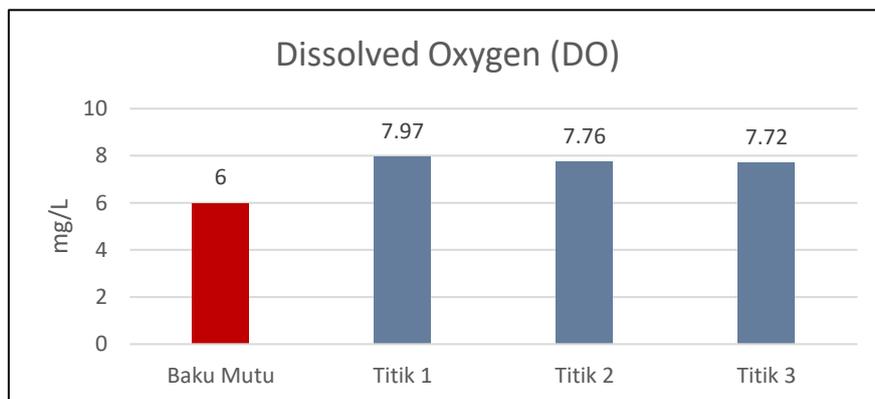


**Gambar 4.** Hasil Analisa Parameter Chemical Oxygen Demand (COD)

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil uji yang disajikan, kadar COD di tiga titik bendungan menunjukkan nilai yang sangat rendah, yaitu kurang dari 4 mg/L di Titik 1 (Hulu Bendungan), Titik 2 (Area Bendungan), dan Titik 3 (Hilir Bendungan). Baku mutu maksimum untuk COD adalah 10 mg/L. Hasil uji ini menunjukkan bahwa kadar COD di seluruh titik berada jauh di bawah ambang batas yang ditetapkan, yang merupakan indikasi positif tentang kualitas air di bendungan.

### 3.4 Dissolved Oxygen (DO)

Dissolved Oxygen (DO) adalah jumlah oksigen yang terlarut dalam air dan tersedia untuk respirasi makhluk hidup akuatik. DO adalah parameter penting untuk menentukan tingkat ekosistem perairan. Tingkat DO yang tinggi menunjukkan bahwa air tersebut mendukung kehidupan akuatik yang sehat, sementara tingkat DO yang rendah dapat menyebabkan kondisi yang tidak mendukung kehidupan, seperti eutrofikasi. Standar baku mutu air PP Nomor 22 Tahun 2021 menetapkan bahwa untuk kelas 1, konsentrasi DO minimal adalah 6 mg/L.

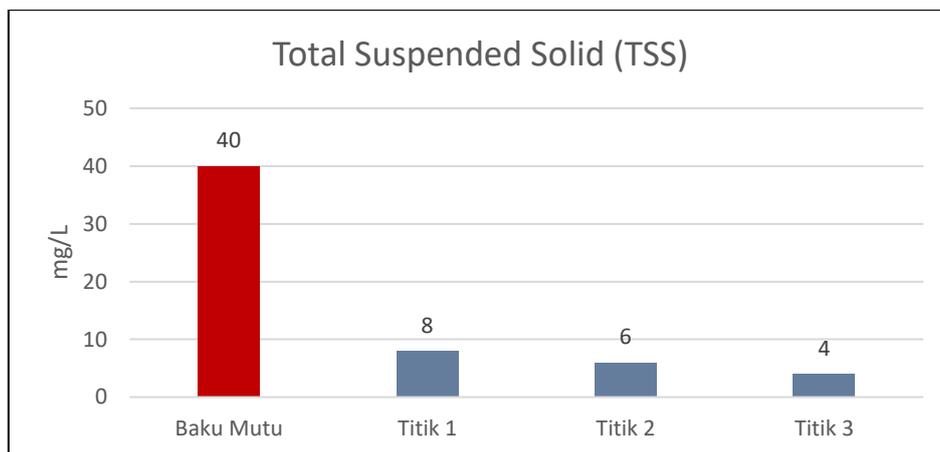


**Gambar 5.** Hasil Analisa Parameter Chemical Oxygen Demand (COD)

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar DO di Titik 1 (Hulu Bendungan) adalah 7,97 mg/L, di Titik 2 (Area Bendungan) adalah 8,04 mg/L, dan di Titik 3 (Hilir Bendungan) adalah 7,72 mg/L. Dalam analisis ini, kita akan membahas kondisi di tiap titik secara menyeluruh dan mengeksplorasi pengaruh aerator di spillway terhadap hasil pengujian. Peran aerator di spillway sangat penting dalam konteks ini. Aerator dirancang untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air dengan menciptakan turbulensi yang memperbesar area kontak antara udara dan air. Jika aerator di spillway tidak berfungsi, penambahan oksigen yang seharusnya terjadi di bagian hilir sistem aliran tidak dapat dilakukan dengan efektif. Akibatnya, kadar DO di Hilir Bendungan dapat menurun, seperti yang terlihat di Titik 3. Aerator yang tidak berfungsi dapat memperburuk penurunan kualitas air yang mungkin sudah terjadi karena akumulasi pencemaran organik atau partikel tersuspensi. Oleh karena itu, kinerja aerator sangat krusial untuk memastikan bahwa kadar DO tetap optimal di seluruh sistem bendungan, termasuk di hilir.

### 3.5 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solids (TSS) adalah parameter penting dalam analisis kualitas air yang mengukur jumlah partikel padat yang tersuspensi dalam air. Partikel-partikel ini termasuk debu, tanah, dan material organik atau anorganik yang tidak terlarut. TSS dapat mempengaruhi kualitas air dan kesehatan ekosistem dengan mengurangi transparansi air, mempengaruhi habitat akuatik, dan dapat menutupi habitat bawah air.

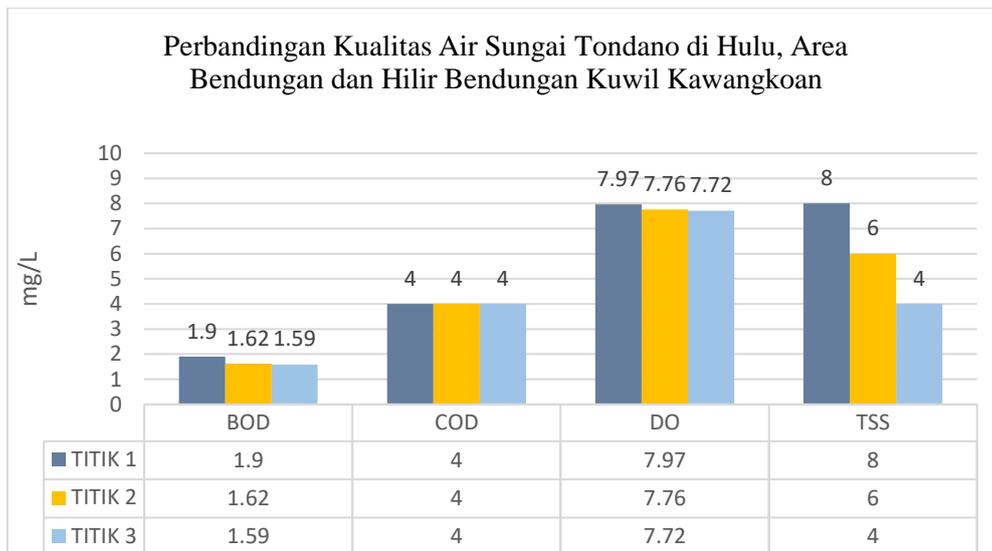


**Gambar 6.** Hasil Analisa Parameter Total Suspended Solid (TSS)

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil uji yang disajikan, kadar TSS di tiga titik bendungan adalah sebagai berikut: 8 mg/L di Titik 1 (Hulu Bendungan), 6 mg/L di Titik 2 (Area Bendungan), dan 4 mg/L di Titik 3 (Hilir Bendungan). Baku mutu maksimum yang ditetapkan untuk TSS adalah 40 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar TSS di semua titik berada jauh di bawah ambang batas yang ditetapkan, yang merupakan indikasi positif mengenai kualitas air di bendungan. Secara keseluruhan, kadar TSS yang terukur di semua titik menunjukkan bahwa kualitas air di bendungan berada dalam kondisi baik dengan konsentrasi partikel padat yang rendah. Penurunan TSS dari hulu ke hilir menunjukkan bahwa proses-proses pengolahan dan pengendapan di bendungan efektif dalam mengurangi beban sedimen dan partikel padat yang tersuspensi dalam air.

### 3.6 Perbandingan Kualitas Air Sungai

Setelah dilakukan pengujian terhadap sampel air, selanjutnya dilakukan perbandingan terhadap kualitas air sungai Tondano di hulu dan hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan. Parameter yang digunakan untuk membandingkan kualitas air yaitu BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), DO (Dissolved Oxygen) dan TSS (Total Suspended Solid). Berikut merupakan hasil perbandingan kualitas air sungai Tondano di hulu, area bendungan dan hilir Bendungan Kuwil.



Sumber : Data Primer, 2024

**Gambar 7.** Perbandingan Kualitas Air Sungai Tondano di Hulu, Area Bendungan dan Hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan.

Berdasarkan grafik yang disajikan, dapat dilihat perbandingan kualitas air Sungai Tondano pada tiga titik pengamatan, yaitu di hulu, area bendungan, dan hilir bendungan Kuwil Kawangkoan. Parameter yang diukur meliputi BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), DO (Dissolved Oxygen), dan TSS (Total Suspended Solids). Berikut hasil perbandingan ke 3 (tiga) parameter tersebut.

1. Parameter BOD (Biochemical Oxygen Demand) menunjukkan tingkat pencemaran organik dalam air. Nilai BOD di semua titik pengamatan tergolong rendah, namun cenderung menurun dari hulu ke hilir. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas mikroorganisme pengurai bahan organik di sepanjang aliran sungai cukup efektif.
2. Parameter COD (Chemical Oxygen Demand) menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik dalam air, baik yang dapat diurai secara biologis maupun tidak. Nilai COD di semua titik pengamatan relatif stabil, mengindikasikan adanya masukan bahan organik yang cukup konsisten sepanjang aliran sungai.
3. Parameter DO (Dissolved Oxygen) merupakan indikator keberadaan oksigen terlarut dalam air yang sangat penting bagi kehidupan akuatik. Nilai DO di semua titik pengamatan tergolong tinggi, menunjukkan kondisi perairan yang masih cukup baik untuk mendukung kehidupan biota air. Namun, terdapat sedikit penurunan nilai DO dari hulu ke hilir.
4. Parameter TSS (Total Suspended Solids) menunjukkan jumlah partikel padat tersuspensi dalam air. Nilai TSS di hulu lebih tinggi dibandingkan dengan titik pengamatan lainnya, kemudian menurun secara signifikan di area bendungan dan hilir bendungan. Penurunan TSS ini kemungkinan disebabkan oleh proses pengendapan partikel padat di dalam bendungan.

Secara umum, kualitas air Sungai Tondano pada ketiga titik pengamatan masih tergolong baik. Namun, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan. Penurunan nilai BOD dari hulu ke hilir menunjukkan adanya proses penguraian bahan organik yang efektif. Stabilitas nilai COD mengindikasikan adanya masukan bahan organik yang konsisten. Nilai DO yang tinggi menunjukkan kondisi perairan yang masih mendukung kehidupan akuatik. Penurunan nilai TSS dari hulu ke hilir disebabkan oleh proses pengendapan partikel padat di dalam bendungan.

### 3.7 Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai

Berdasarkan hasil analisis kualitas air Sungai Tondano di sekitar Bendungan Kuwil, serta mengingat adanya pabrik minyak kelapa di daerah tersebut, strategi pengendalian pencemaran harus disusun dengan pendekatan yang komprehensif dan berkoordinasi dengan standar baku mutu air Kelas I yang ditetapkan dalam PP Nomor 22 Tahun 2021. Strategi ini harus mencakup pengelolaan pencemaran di tiga area utama: hulu bendungan, area bendungan, dan hilir bendungan.

1. Di hulu Bendungan Kuwil, strategi pengendalian pencemaran berfokus pada praktik pertanian ramah lingkungan dan pengelolaan limbah. Penggunaan pupuk organik dan teknik konservasi pertanian seperti rotasi tanaman harus diterapkan untuk mengurangi limpasan bahan kimia ke sungai. Penanaman vegetasi di sepanjang tepi sungai juga penting untuk mencegah erosi tanah dan menangkap polutan. Selain itu, pengelolaan limbah domestik dan industri harus diperkuat dengan memastikan instalasi pengolahan limbah berfungsi sesuai standar. Edukasi kepada masyarakat mengenai pengelolaan limbah yang baik perlu dilakukan guna meningkatkan kesadaran akan dampak pencemaran terhadap kualitas air.
2. Di area bendungan, fokus utama adalah pada pengelolaan sedimen dan pencemaran industri. Pengangkatan sedimen secara berkala (dredging) diperlukan untuk mencegah penurunan kualitas air akibat akumulasi bahan organik dan sedimen. Selain itu, sistem aerasi harus diterapkan untuk menjaga kadar oksigen terlarut (DO), yang penting bagi kesehatan ekosistem air. Dengan adanya pabrik minyak kelapa di sekitar area, pengelolaan limbah industri harus diperketat, dengan sistem pengolahan yang sesuai untuk menghindari pencemaran. Pengawasan dan audit rutin diperlukan untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan.
3. Pemantauan kualitas air di hilir bendungan dilakukan dengan memasang stasiun pemantauan otomatis untuk mendeteksi perubahan kualitas air secara real-time. Pengelolaan limbah di hilir juga harus diperketat untuk mencegah pencemaran lebih lanjut. Edukasi dan pelibatan masyarakat dalam kegiatan pelestarian lingkungan, seperti program bersih sungai, sangat penting untuk meningkatkan kesadaran tentang pentingnya menjaga kualitas air Sungai Tondano.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada sampel air sungai Tondano di titik lokasi penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Terdapat perbedaan kualitas air Sungai Tondano di hulu dan hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan. Analisis menunjukkan penurunan nilai BOD dari 1,90 mg/L di hulu menjadi 1,59 mg/L di hilir, serta penurunan TSS dari 8 mg/L di hulu menjadi 4 mg/L di hilir. Nilai COD tetap konsisten di bawah 4 mg/L di semua titik pengukuran, sementara DO mengalami sedikit penurunan dari 7,97 mg/L di hulu menjadi 7,72 mg/L di hilir. Secara keseluruhan, kualitas air menunjukkan perbaikan dari hulu ke hilir, terutama dalam hal penurunan BOD dan TSS.
2. Hasil uji kualitas air Sungai Tondano untuk parameter BOD, COD, DO, dan TSS memenuhi standar baku mutu air kelas I sesuai PP Nomor 22 Tahun 2021. Bendungan Kuwil Kawangkoan memiliki peran positif dalam mempengaruhi kualitas air Sungai Tondano, terlihat dari penurunan BOD dan TSS dari hulu ke hilir yang menunjukkan peran bendungan dalam pengendapan dan pengurangan bahan organik. Nilai DO yang tetap tinggi menunjukkan fungsi aerasi bendungan yang baik, sementara stabilitas COD yang rendah mengindikasikan tidak adanya penambahan polutan kimia yang signifikan.
3. Strategi dan penanganan untuk mengatasi pencemaran air Sungai Tondano di hulu dan hilir Bendungan Kuwil Kawangkoan meliputi pendekatan terintegrasi di tiga area utama. Di hulu, fokus pada penerapan praktik pertanian ramah lingkungan, pengelolaan limbah yang efektif, dan edukasi masyarakat. Di area bendungan, strategi meliputi pengangkatan sedimen berkala, penerapan sistem aerasi, dan pengelolaan limbah industri yang ketat. Di hilir, diperlukan pemantauan kualitas air berkelanjutan, pengelolaan limbah yang lebih ketat, dan pelibatan masyarakat dalam pelestarian lingkungan. Implementasi strategi ini diharapkan dapat mempertahankan dan meningkatkan kualitas air Sungai Tondano, menjaga keberlanjutan ekosistem sungai, dan mendukung kesejahteraan masyarakat sekitar.

#### *Ucapan terima kasih*

*Ucapan terima kasih kepada seluruh pihak terkait dalam proses penelitian terkhususnya pihak Balai Wilayah Sungai Sulawesi dan UPB Bendungan Kuwil Kawangkoan yang telah mengizinkan peneliti melakukan penelitian di Bendungan Kuwil Kawangkoan, Kecamatan Kalawat, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara.*

## Referensi

- Aisyah, S., & Rahmawati, D. (2020). Analisis kualitas air sungai dengan parameter BOD, COD, dan DO di hulu dan hilir bendungan.
- Dewi, P. S., & Wibowo, A. (2016). Evaluasi kualitas air Sungai Tondano berdasarkan standar kualitas air nasional. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*.
- Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). *Atlas status mutu air Indonesia tahun 2016*.
- Hanum, U., Ramadhan, M. F., Armando, M. F., Sholiqin, M., & Rachmawati, S. (2022). Analisis kualitas air dan strategi pengendalian pencemaran air di Sungai Pepe bagian hilir, Surakarta. Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Kumendong, A., & Waleleng, B. (2014). Studi kualitas air Sungai Tondano di Bendungan Kuwil dan dampaknya terhadap penggunaan air untuk irigasi.
- Mahardika, A., & Wulandari, E. (2020). Studi kualitas air di hulu dan hilir bendungan menggunakan parameter BOD, COD, dan DO.
- Martinez, F., Hernandez, P., & Garcia, M. (2020). Water quality impacts of dam operations on the Rio Grande. *Journal of Hydrology*, 583, 124623.
- Pratama, M. (2022). Pengaruh operasi Bendungan Kuwil terhadap kualitas air Sungai Tondano. *Jurnal Sumber Daya Alam*, 18(1), 45-65.
- Rahmat, B. (2018). Pengaruh operasional Bendungan Kuwil terhadap kualitas air Sungai Tondano. *Jurnal Teknik dan Lingkungan*, 11(3), 175-188.
- Sari, D. K., & Rahmawati, D. (2020). Studi kualitas air di hulu dan hilir bendungan menggunakan parameter BOD, COD, dan DO.
- Setiawan, R., Wilopo, W., & Pranantya, P. A. (2023). Sistem air tanah di hulu bendungan dan pengaruh air tanah terhadap stabilitas lereng pada outlet terowongan pengelak Bendungan Kuwil Kawangkoan Sulawesi Utara.
- Smith, J., & Anderson, L. (2017). Impact of dams on river water quality: A case study of the Mississippi River. *Journal of Environmental Quality*, 46(3), 745-756.
- Sondakh, M. D. Z. (2020). Analisis kualitas air Danau Tondano dan Sungai Tondano dengan metode Storet dan korelasional. Skripsi Program S1 Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Wijaya, A. (2018). Analisis dampak bendungan terhadap kualitas air Sungai Bengawan Solo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 13(1), 50-64.