



Analisis Kandungan Besi (Fe), Fluorida (F) Dan Fecal Coliform Di Sungai Panasen, Desa Panasen, Kabupaten Minahasa

Raden G. Rompas^{#a}, Liany A. Hendratta^{#b}, Roski R. I. Legrans^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aradengamalielrompas@gmail.com, ^blianyhendratta@unsrat.ac.id, ^clegransroski@unsrat.ac.id

Abstrak

Desa Panasen merupakan salah satu desa yang ada di Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa, dengan luas Desa 267 Ha atau 2,67 KM². Keadaan wilayah desa Panasen mempunyai lahan budidaya sawah 83 Ha, kebun ladang 154 Ha, hutan budidaya tidak ada, hutan non budidaya 10 Ha, dan pemukiman 20 Ha. Jumlah populasi total di desa ini pada tahun 2022 adalah sebanyak 1.328 jiwa. Dilihat dari kondisi geografis Desa Panasen yang berdekatan dengan Sungai Panasen menyebabkan sungai ini sering digunakan sebagai tempat pembuangan limbah pertanian dan domestik. Hasil uji laboratorium menunjukkan peningkatan signifikan konsentrasi Besi (Fe) dan Fluorida (F) dibandingkan dengan lokasi di Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa. Peningkatan konsentrasi Besi (Fe) ini diidentifikasi disebabkan oleh aktivitas masyarakat seperti pembuangan limbah pertanian dan domestik, serta proses pelarutan batuan dan mineral yang mengandung logam-logam tersebut. Limbah cair dari pertanian terutama berasal dari penggunaan pupuk dan pestisida, sementara limbah domestik mencakup detergen dan pipa besi. Proses pelapukan kimia mineral silikat juga memainkan peran penting dalam pelepasan ion Fe²⁺ ke dalam perairan. Selain itu, parameter Fecal Coliform mengalami penurunan di hilir sungai, yang mungkin disebabkan oleh kemampuan alami sungai untuk memurnikan diri melalui proses sedimentasi, pengenceran, dan degradasi biologis. Sebaliknya, tingginya konsentrasi Fecal Coliform yang berlokasi di Desa Panasen disebabkan oleh kontaminasi feses manusia atau hewan, yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia. Untuk mengendalikan pencemaran lingkungan dan menjaga kualitas air Sungai Panasen, diperlukan upaya identifikasi sumber pencemaran, pengembangan teknologi pengolahan limbah seperti Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), pengurangan penggunaan pupuk kimia, serta peningkatan peran serta masyarakat dan koordinasi pemerintah. Langkah-langkah ini diharapkan dapat meningkatkan dan melindungi kualitas air sungai secara efektif.

Kata kunci: kualitas air, pencemaran air, pengelolaan limbah, Danau Tondano

1. Pendahuluan

Sungai Panasen merupakan salah satu dari 34 sub Daerah Aliran Sungai (DAS) di DAS Danau Tondano, yang berperan penting dalam menampung dan mengalirkan air menuju Danau Tondano. Sungai ini mengalir beberapa wilayah, termasuk Desa Panasen di Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa. Desa Panasen, dengan luas wilayah 267 Ha, mempunyai lahan budidaya sawah 83 Ha, kebun ladang 154 Ha, hutan budidaya tidak ada, hutan non budidaya 10 Ha, dan pemukiman 20 Ha. Dengan populasi yang mencapai 1.328 jiwa pada tahun 2022, aktivitas masyarakat di desa ini sangat dipengaruhi oleh kondisi geografisnya, terutama keberadaan Sungai Panasen yang melintasi desa. Sungai ini memiliki peran vital bagi kehidupan sehari-hari masyarakat, baik sebagai sumber air maupun sebagai penerima limbah.

Namun, aktivitas manusia di sekitar sungai, termasuk pertanian, industri kecil, dan pemukiman, telah menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas air Sungai Panasen. Limbah pertanian, seperti penggunaan pupuk dan pestisida, serta limbah domestik dari pemukiman, seringkali dibuang langsung ke sungai tanpa melalui proses pengolahan yang memadai.

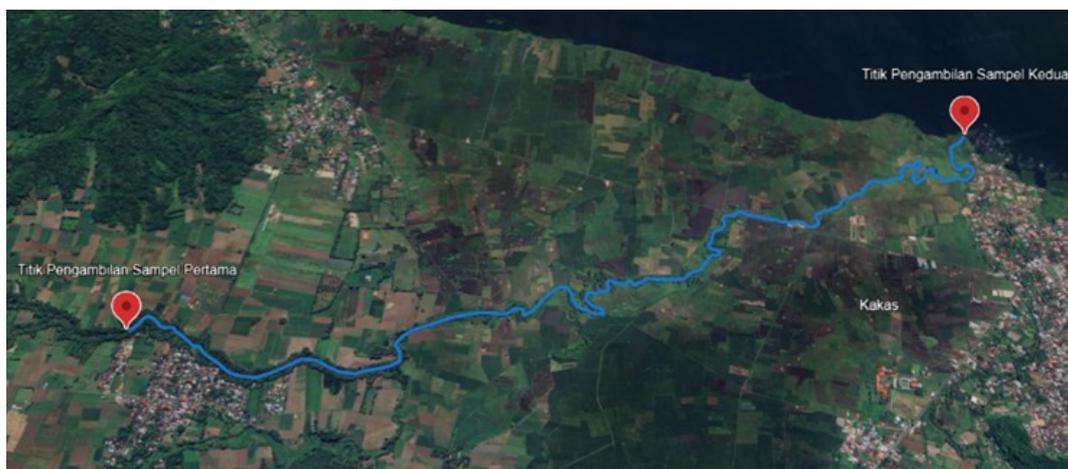
Akibatnya, terdapat peningkatan signifikan kadar polutan seperti Besi (Fe), Fluorida (F), dan Fecal Coliform dalam air sungai.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi kadar Besi (Fe), Fluorida (F), dan Fecal Coliform di Sungai Panasen, serta mengevaluasi dampak dari aktivitas antropogenik terhadap kualitas air sungai. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada pengembangan strategi penanganan yang tepat untuk mengurangi pencemaran dan menjaga kualitas air Sungai Panasen di masa depan. Strategi yang diusulkan meliputi identifikasi sumber pencemaran, pengembangan dan penerapan teknologi pengolahan limbah seperti Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), pengurangan penggunaan pupuk kimia, serta peningkatan peran serta masyarakat dan koordinasi pemerintah. Diharapkan dengan implementasi strategi-strategi ini, kualitas air Sungai Panasen dapat ditingkatkan, mendukung kesehatan ekosistem dan kesejahteraan masyarakat sekitar.

2. Metode Penelitian

Penentuan titik pengambilan sampel dilakukan pada 2 (dua) titik sungai Panasen dengan mempertimbangkan kemudahan akses, biaya dan waktu sehingga ditentukan titik-titik yang mewakili lokasi sungai.

Titik lokasi pengambilan sampel air Sungai yang pertama berada di Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa dan titik kedua berada di hilir sungai yang bermuara di Danau Tondano. Koordinat titik pengambilan sampel dimulai dari 1°11'03"N 124°50'58"E sampai dengan 1°11'09"N 124°53'06"E.

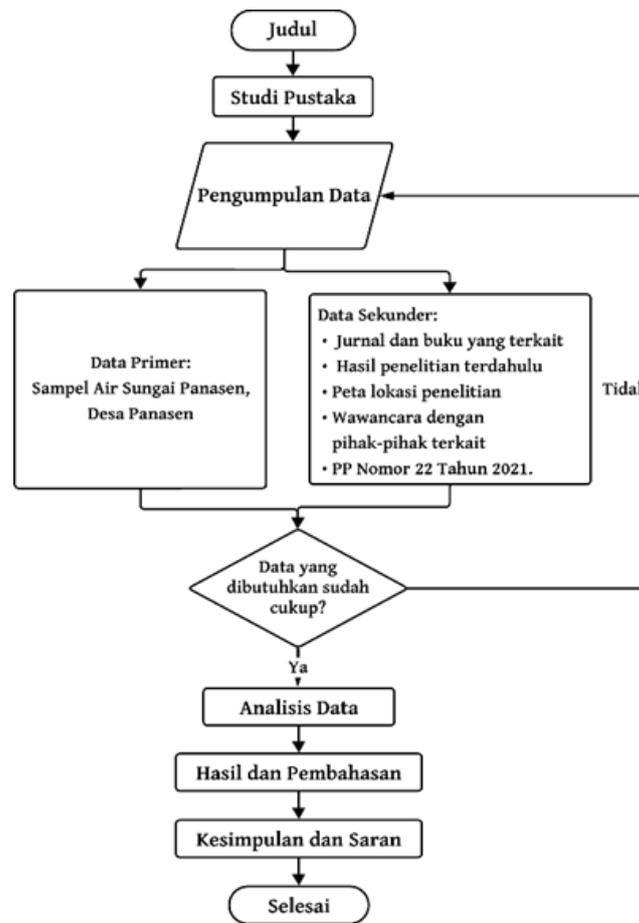


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini analisis data menggunakan metode deskriptif kualitatif. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dan data primer. Data sekunder yang digunakan berupa data-data yang diperoleh dari literatur berupa jurnal, buku, hasil penelitian terdahulu, peta lokasi penelitian, wawancara dengan pihak-pihak terkait, serta Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Data primer yang digunakan diperoleh dari hasil observasi langsung serta pengambilan berupa sampel air Sungai Panasen, Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa.

Sampel air sungai yang sudah diambil di bawa ke Laboratorium Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Manado untuk dilakukan pengujian parameter Besi (Fe) dan Fluorida (F), Fecal Coliform. Metode Pengujian sampel mengacu pada Standar-standar yang ada. Pengujian Besi (Fe) menggunakan SNI 6989.84-2019 tentang Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) – nyala. Pengujian Fluorida (F) menggunakan SNI 06-6989.29-2005 tentang Cara uji Fluorida (F⁻) secara spektrofotometri dengan SPADNS dan pengujian Fecal Coliform menggunakan SNI SM 9221 B, 23rd Edition 2017.

Kemudian data hasil pengukuran dari masing- masing parameter air dibandingkan dengan nilai baku mutu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian dan Analisis

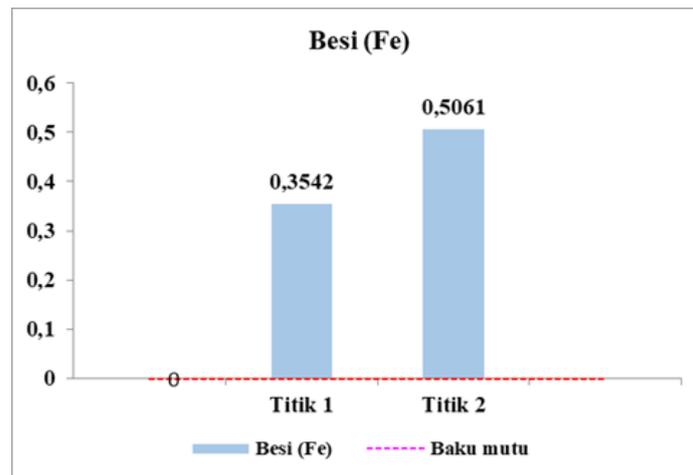
Kualitas air Sungai Panasen dianalisis berdasarkan baku mutu air kelas III menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan pengelolaan Lingkungan Hidup. Berdasarkan data hasil pengukuran parameter Besi (Fe) dan Fluorida (F), Fecal Coliform. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Mei 2024 dan analisis sampel di laboratorium dilakukan pada bulan Juni 2024. Hasil pengukuran dan analisis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Kualitas Air Sungai Panasen

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisis	
				Titik I	Titik II
1	Besi (Fe)	Mg/L	-	0,3542	0,5061
2	Fluorida (F)	Mg/L	1,5	<0,4	0,6
3	Fecal Coliform	Mg/L	2000	1600	210

3.1.1 Besi (Fe)

Logam Besi (Fe) adalah logam yang kehadirannya dalam jumlah-jumlah yang tertentu dibutuhkan oleh makhluk hidup tetapi dalam jumlah yang berlebihan bisa menyebabkan efek yang beracun. Sekalipun Fe diperlukan oleh tubuh, tetapi dalam dosis yang besar dapat merusak dinding usus. Kematian sering disebabkan oleh kerusakan dinding usus. Konsentrasi Fe di atas 1 mg/l menyebabkan iritasi pada mata dan kulit. Ketika kelarutan besi dalam air melebihi 10 mg/l, air berbau seperti telur busuk. Debu Fe juga dapat diakumulasi dalam alveoli dan menyebabkan berkurangnya fungsi paru-paru (Febrina & Ayuna, 2015). Hasil pengukuran Besi (Fe) dari titik 1 (satu) sampai dengan titik 2 (dua) yang dilakukan di Laboratorium dapat dilihat pada Gambar 3.



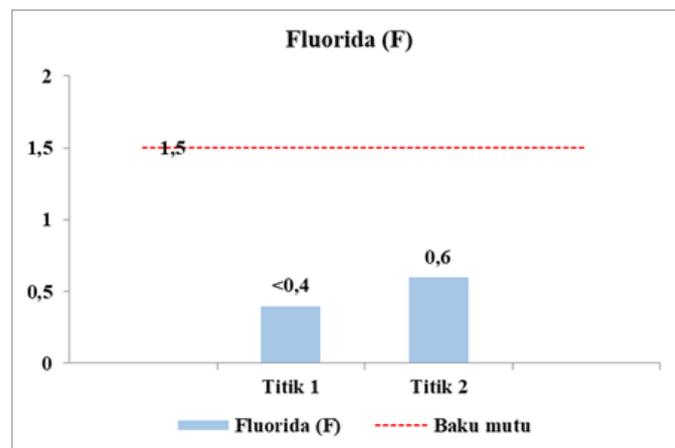
Gambar 3. Hasil Analisa Parameter Besi (Fe)

Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran Besi (Fe) menunjukkan bahwa kadar Besi (Fe) yang ada di titik 1 (satu) yang berlokasi di Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa memiliki konsentrasi nilai sebesar 0,3542 mg/L, dan pada titik 2 (dua) yang berlokasi di hilir sungai yang bermuara di Danau Tondano memiliki konsentrasi nilai 0,5061 mg/L. Nilai Besi (Fe) yang lebih tinggi berada di titik 2 (dua) yaitu dengan nilai sebesar 0,5061 mg/L.

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, nilai Besi (Fe) air Sungai Panasen masih berada pada batas baku mutu air sungai untuk kelas III.

3.1.2 Fluorida (F)

Fluorida merupakan zat kimia yang sudah terbukti dapat mengakibatkan perubahan buruk pada kesehatan melalui air. Jumlah Fluorida yang bersumber dari air cukup tinggi, oleh karena itu jumlah Fluorida dalam air harus diperhatikan. Manfaat dari Fluorida terhadap kesehatan adalah dapat mencegah karies gigi pada konsentrasi yang sesuai, tetapi juga dapat menyebabkan efek yang tidak diinginkan jika terlalu berlebihan (Astriningrum et al., 2010). Hasil pengukuran Fluorida (F) titik 1 (satu) sampai dengan titik 2 (dua) yang dilakukan di Laboratorium dapat dilihat pada Gambar 4.



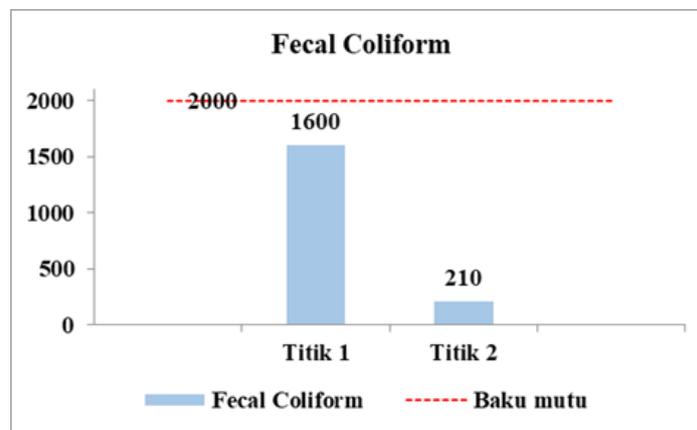
Gambar 4. Hasil Analisa Parameter Fluorida (F)

Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran Fluorida menunjukkan bahwa kadar Fluorida yang ada di titik 1 (satu) yang berlokasi di Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa memiliki konsentrasi nilai kurang dari limit deteksi atau sebesar <0,4 mg/L, pada titik 2 (dua) yang berlokasi di hilir sungai yang bermuara di Danau Tondano memiliki konsentrasi nilai 0,6 mg/L. Nilai Fluorida yang lebih tinggi berada di titik 2 (dua) yaitu dengan nilai sebesar 0,6 mg/L.

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, nilai Fluorida (F) air Sungai Panasen masih berada pada batas baku mutu air sungai untuk kelas III yaitu dengan nilai ambang batas 1,5 mg/L.

3.1.3 Fecal Coliform

Bakteri *Escherichia coli* merupakan salah satu bakteri gram negatif dari famili Enterobacteriaceae, berbentuk batang, fakultatif anaerob, tidak membentuk spora dan merupakan flora normal pada usus mamalia. Bakteri ini umum hidup dalam saluran pencernaan manusia atau hewan. Secara fisiologi, *E.coli* memiliki kemampuan untuk bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang sulit. *E.coli* tumbuh dengan baik di air tawar, air laut, atau di tanah. *E.coli* merupakan bakteri indikator kualitas air karena keberadaan *E.coli* dalam air mengindikasikan air tersebut terkontaminasi oleh feces yang mengandung mikroorganisme enterik pathogen (Rahayu et al., 2018). Hasil pengukuran Fecal Coliform dari titik 1 (satu) sampai dengan titik 2 (dua) yang dilakukan di Laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Analisa Kadar Fecal Coliform

Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran Fecal Coliform, didapatkan nilai pada titik 1 (satu) yang berlokasi di Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa memiliki konsentrasi nilai sebesar 1600 mg/L, pada titik 2 (dua) yang berlokasi di hilir sungai yang bermuara di Danau Tondano memiliki konsentrasi nilai 210 mg/L. Nilai Fecal Coliform tertinggi didapatkan di titik 1 (satu), yaitu dengan nilai 1600 mg/L.

Klasifikasi mutu air berdasarkan peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, bahwa kadar Fecal Coliform pada air sungai untuk kelas III senilai 2000 mg/L. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar Fecal Coliform pada sungai Tondano untuk titik 1 (satu) sampai dengan titik 2 (dua) memenuhi standar baku mutu dan aman untuk perairan.

3.2 Hasil Pengujian Kualitas Air Sungai Panasen Pada Titik 1 (satu) dan Titik 2 (dua)

Setelah dilakukan pengujian terhadap sampel air Sungai Panasen pada titik 1 (satu) dan titik 2 (dua) didapatlah hasil seperti pada gambar 6. Parameter yang digunakan untuk melihat kualitas air yaitu Besi (Fe), Fluorida (F), dan Fecal Coliform.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, kandungan Besi (Fe) dan Fluorida tertinggi berada pada titik 2 (dua) yaitu pada aliran sungai yang berlokasi di hilir sungai yang bermuara di Danau Tondano, dengan konsentrasi nilai Besi (Fe) 0,5061 mg/L dan Fluorida 0,6 mg/L. Tingginya kandungan Besi (Fe) dan Fluorida (F) dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat di sekitar sungai seperti limbah pertanian dan limbah domestic dari masyarakat dan juga bisa disebabkan karena terjadinya proses pelarutan batuan dan mineral, terutama oksida, sulfida, karbonat dan silikat yang mengandung logam-logam tersebut dan terbawa oleh sedimen yang berada pada dasar sungai.

Kenaikan Kadar Besi (Fe) dan Fluorida (F) yang terjadi di titik 2 (dua), pada aliran sungai yang berlokasi di hilir bermuara di Danau Tondano, bisa disebabkan karena aliran air sungai sudah

melewati lahan pertanian dan lahan pemukiman sehingga lebih banyak menerima limbah buangan,

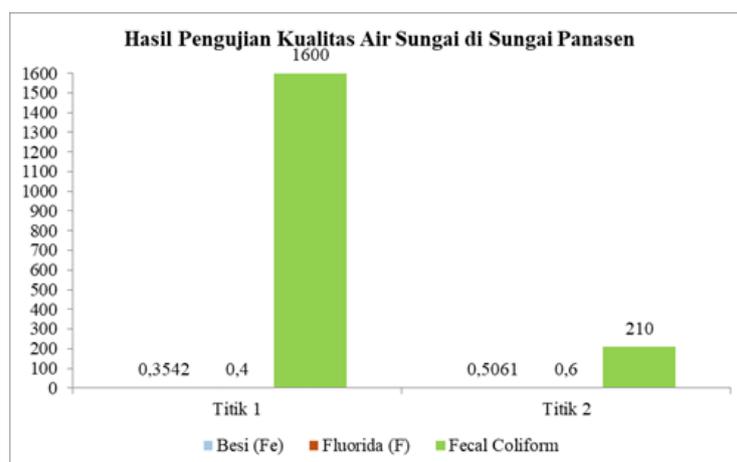
Limbah cair dari kegiatan pertanian tidak dapat dilihat secara kasat mata, oleh karena itu identifikasi zat pencemar berupa limbah cair pada penelitian ini adalah dari penggunaan pupuk dan pestisida yang digunakan oleh petani. Sebanyak 71% petani memilih menggunakan pupuk kimia, 6% petani menggunakan pupuk kandang, dan 22% petani menggunakan campuran pupuk kimia dan pupuk kandang (Setyaningsih & Sanjaya, 2022). Produksi pupuk fosfat melibatkan penggunaan batuan fosfat yang biasanya mengandung sekitar 3,8% fluor. Selama proses penggunaan, fluor dapat dilepaskan sebagai hidrogen fluorida gas dan senyawa fluoride lainnya, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Harrison, R. M., & Hargreaves, K. J, 1989).

Kadar besi di sungai dapat dipengaruhi secara signifikan oleh pembuangan limbah domestik. Detergen rumah tangga, pipa besi, dan sumber besi lainnya dalam limbah domestik dapat berkontribusi pada konsentrasi besi yang tinggi dalam badan air penerima, memengaruhi kualitas air dan kehidupan akuatik (Morse, G. K., & Laing, G. D, 1998). Dan juga bisa disebabkan karena terjadinya proses pelarutan batuan dan mineral, terutama oksida, sulfida, karbonat dan silikat yang mengandung logam-logam tersebut dan terbawa oleh sedimen yang berada pada dasar sungai.

Sedangkan untuk Fecal Coliform, konsentrasi nilai yang lebih tinggi berada pada titik 1 (satu) yaitu pada aliran sungai yang berlokasi di Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa. Konsentrasi Fecal Coliform yang lebih tinggi di titik ini kemungkinan besar disebabkan karena kontaminasi feses manusia atau hewan.

Berdasarkan penelitian (Santy et al., 2017) menyatakan bahwa kandungan Fecal coliform pada air sungai dapat meningkat akibat adanya kontaminasi dari sanitasi rumah yang buruk. Urbanisasi dan industrialisasi sangat berpengaruh terhadap keberadaan bakteri Fecal coliform pada perairan (Kalaivani et al., 2014). Kotoran manusia dapat menghasilkan bakteri pathogen berupa *Escherichia coli*, *Shigella sp.*, *Vibrio cholerae*, *Campylobacter jejuni* dan *Salmonella* merupakan anggota dari fecal coliform. Bakteri ini dapat menyebabkan terjadinya diare pada manusia. *Escherichia coli* apabila dikonsumsi terus-menerus dalam jangka panjang akan berdampak pada timbulnya penyakit seperti radang usus, diare, infeksi pada saluran kemih dan saluran empedu (Prayitno, 2009).

Dan pada titik 2 (dua) yaitu pada aliran sungai yang berlokasi di hilir sungai yang bermuara di Danau Tondano, terjadi penurunan konsentrasi nilai Fecal Coliform. Hal ini bisa disebabkan karena perbedaan kondisi dan aktivitas yang ada disekitar sungai dan kemampuan pemurnian diri dari air. Wetzel (2001) mengemukakan bahwa Proses pemurnian diri di danau dan sungai melibatkan penghilangan polutan dan mikroorganisme melalui sedimentasi, pengenceran, dan degradasi biologis bahan organik, yang sangat penting untuk mempertahankan kualitas air.



Gambar 6. Hasil Pengujian Kualitas Air Sungai Panasen pada Titik 1 (satu) dan Titik 2 (dua)

3.3 Strategi Penanganan Untuk Mengurangi Pencemaran Air Sungai Panasen

Ruang lingkup pengendalian pencemaran air Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 Tahun 2010 meliputi inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar air, penetapan daya tampung beban pencemaran air, penetapan baku mutu air limbah, penetapan kebijakan pengendalian pencemaran air, perizinan, pemantauan kualitas air, pembinaan dan pengawasan serta penyediaan informasi.

Pengendalian pencemaran air adalah upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air. Upaya pengendalian pencemaran air merupakan wewenang Pemerintah dan Pemerintah Provinsi, Pemerintah Kabupaten/Kota yang diatur dalam PP No. 82 Tahun 2001, adapun wewenang dalam pengendalian pencemaran air adalah;

- a. menetapkan daya tampung beban pencemaran;
- b. melakukan inventarisasi dan identifikasi sumber pencemar;
- c. menetapkan persyaratan air limbah untuk aplikasi pada tanah;
- d. menetapkan persyaratan pembuangan air limbah ke air atau sumber air;
- e. memantau kualitas air pada sumber air; dan
- f. memantau faktor lain yang menyebabkan perubahan mutu air.

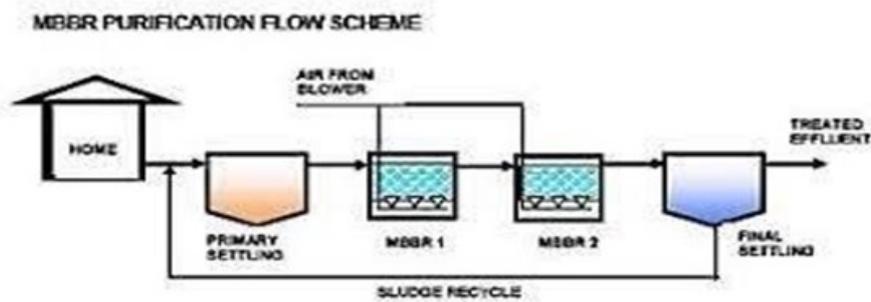
Sesuai dengan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, bahwa masyarakat memiliki hak dan kesempatan yang sama dan seluas-luasnya untuk berperan aktif dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Peran masyarakat dilakukan untuk meningkatkan kepedulian dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup; meningkatkan kemandirian, keberdayaan masyarakat, dan kemitraan serta menumbuhkembangkan kemampuan dan kepeloporan masyarakat. Selain itu, perlu adanya koordinasi antar pemerintah dan instansi terkait yang bertanggung jawab di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup untuk dapat melakukan pengawasan dan pemantauan terhadap ketaatan penanggung jawab usaha dan/ atau kegiatan terhadap izin lingkungan.

3.4 Contoh Analisis Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Untuk Menurunkan Kadar BOD, COD, Fosfat

Salah satu metode biologis dalam pengolahan air limbah adalah dengan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). Sistem MBBR adalah sebuah konsep yang sangat efektif dalam pengolahan limbah cair secara biologis. Teknologi ini pertama kali dikembangkan dan ditemukan pada akhir tahun 1980 di Norwegian University of Science and Technology yang bertujuan untuk mengurangi beban nitrogen dalam air laut. Sistem ini dikembangkan berdasarkan konsep biofilm treatment yang diintegrasikan di dalam sistem lumpur aktif konvensional (Said & Santoso, 2018)

Slamet et al. (2023) menyebutkan bahwa proses MBBR merupakan metode pengolahan air limbah yang melibatkan pertumbuhan mikroba terlekat (*attached growth*) pada media. Dalam sistem ini, bahan pencemar (*substrat*) yang terkandung dalam air limbah akan tercampur sempurna di dalam sebuah reactor, dimana mikroorganisme yang hidup dalam limbah akan tumbuh melekat di media plastik (*biocarrier*) dan terakumulasi membentuk lapisan biomassa (*biofilm*) pada permukaan tersebut. Media plastik (*biocarrier*) didesain sedemikian rupa sehingga memiliki kepadatan unsur yang lebih rendah dibandingkan dengan air, serta menyediakan luas permukaan yang besar bagi tempat tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme. Salah satu *biocarrier* yang seringkali digunakan dalam sistem ini adalah Media Biofilm Kaldnes 1 (K1), media ini dibuat dari bahan High Density polyethylene (HDPE) dengan berat jenis $\pm 0,95 \text{ g/cm}^3$ dan berbentuk silinder kecil, menyilang di dalamnya dan menyerupai sirip di luarnya (Said & Santoso, 2018).

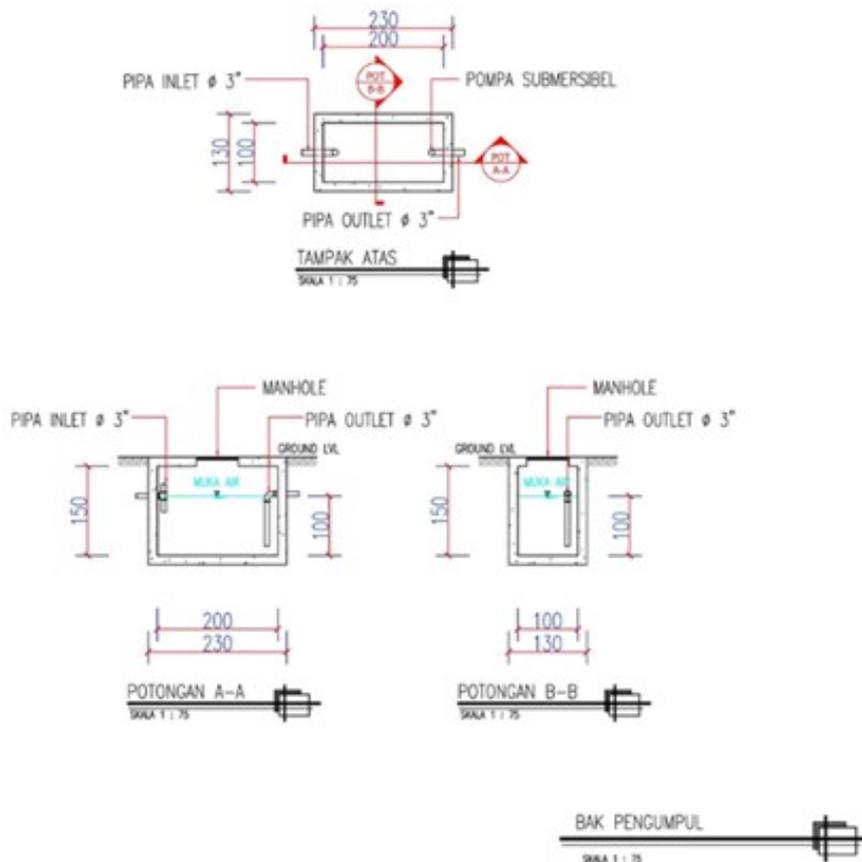
Dalam perencanaan ini, direncanakan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah untuk 100 KK dengan asumsi 1 KK terdiri dari 5 orang maka jumlah penduduk yang akan dilayani oleh tiap unit IPAL adalah 500 orang. Diasumsikan debit air bersih yang dikonversikan menjadi air limbah sebesar 80%. Dengan penggunaan air bersih rata-rata yaitu 150 L/orang/hari. Didapat total debit timbulan air limbah yaitu $60 \text{ m}^3/\text{hari}$ Adapun dimensi unit dan waktu tinggal masing-masing komponen IPAL dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.



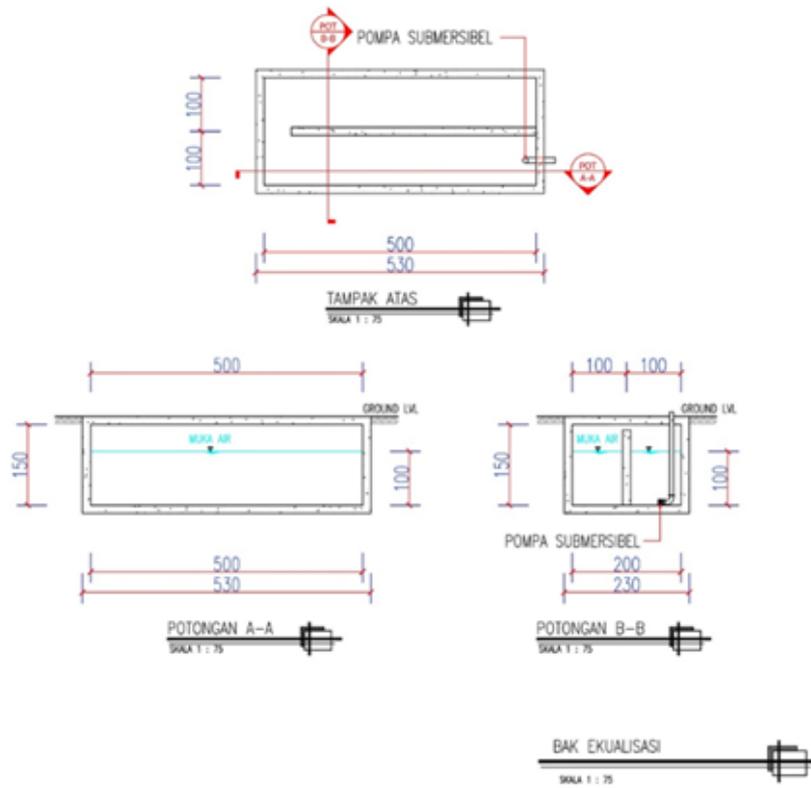
Gambar 7. Skema Pengolahan dengan MBBR

Tabel 3. Rekapitulasi Waktu Detensi

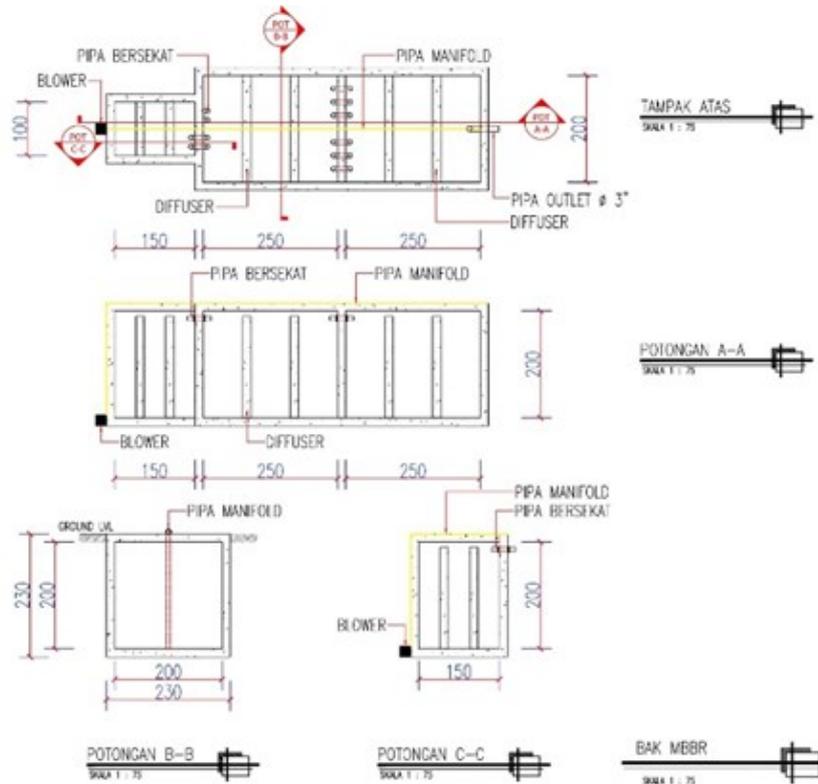
Unit Pengolahan	Spesifikasi	Waktu Tinggal
Bak Pengumpul	Panjang : 2 m Lebar : 1 m Tinggi : 1,5 m	30 menit
Bak Ekualisasi	Panjang : 5 m Lebar : 2 m Tinggi : 1,5 m	4 jam
Bak Pengendap Akhir	Panjang : 2 m Lebar : 1 m Tinggi : 3,5 m	2 jam
Bak Desinfeksi	Panjang: 2,2 m Lebar: 2,2 m Tinggi: 2,5 m	30 menit
Bak Kontrol	Panjang : 2 m Lebar : 1 m Tinggi : 3,3 m	2 jam
Total	35 m²	14,1 jam



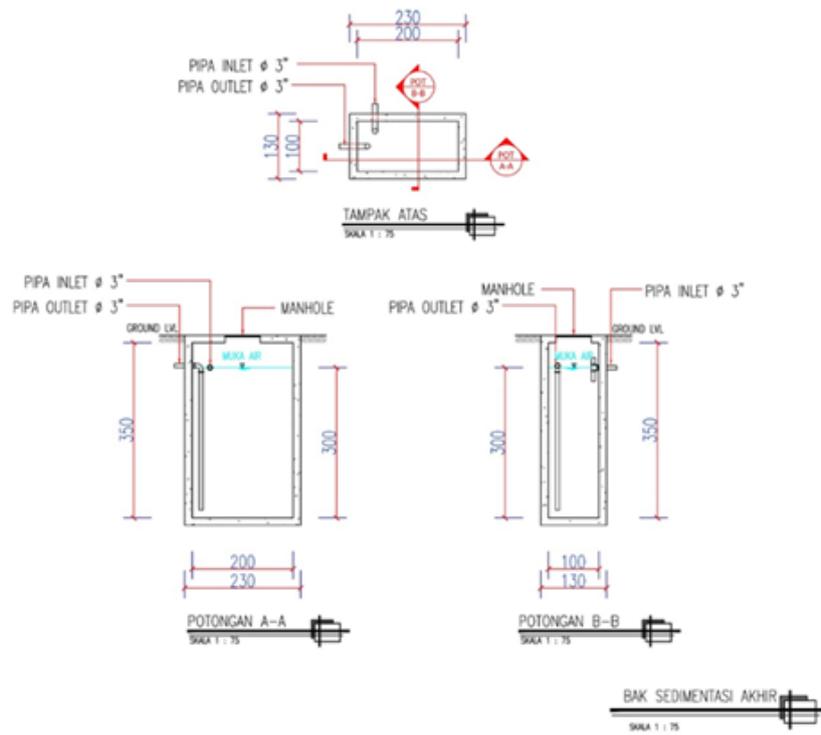
Gambar 8. Desain Bak Pengumpul pada IPAL dengan Moving Bed Biofilm Reactor



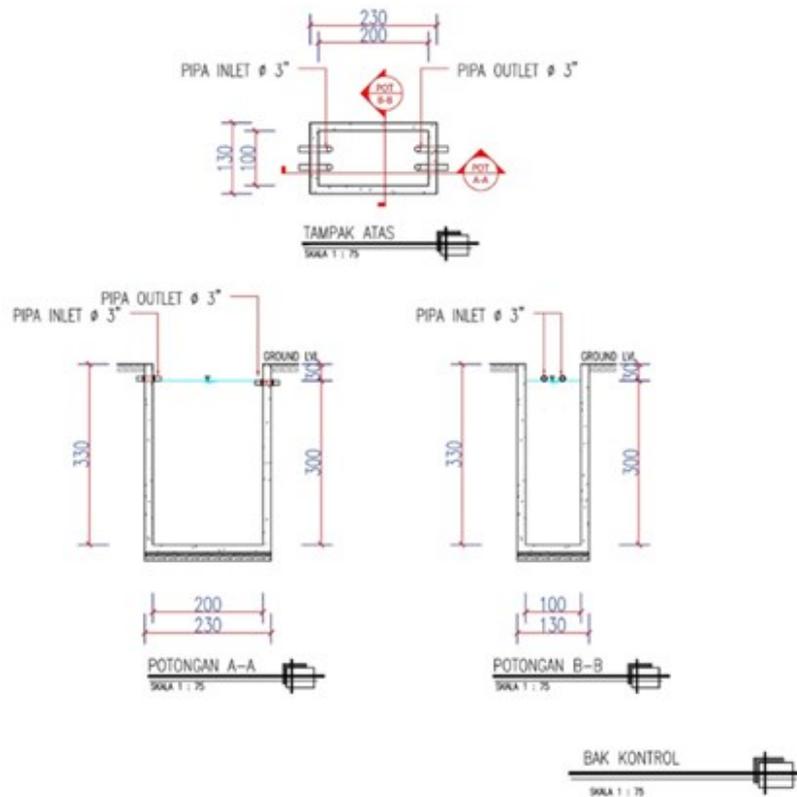
Gambar 9. Desain Bak Ekualisasi pada IPAL dengan Moving Bed Biofilm Reactor



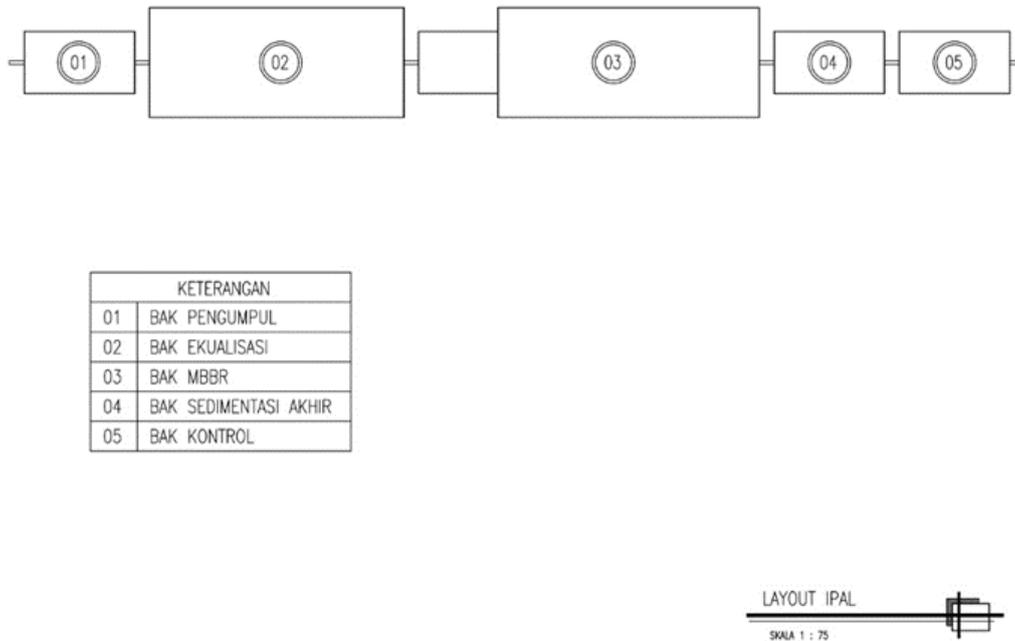
Gambar 10. Desain Bak MBBR pada IPAL dengan Moving Bed Biofilm Reactor



Gambar 11. Desain Bak Sedimentasi Akhir pada IPAL dengan Moving Bed Biofilm Reactor



Gambar 12. Desain Bak Kontrol pada IPAL dengan Moving Bed Biofilm Reactor



Gambar 13. Layout IPAL dengan Moving Bed Biofilm Reactor

4. Kesimpulan

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

1. Hasil uji laboratorium terhadap sampel air sungai Panasen menunjukkan bahwa pada aliran sungai yang berlokasi di hilir sungai yang bermuara di Danau Tondano, konsentrasi nilai parameter Besi (Fe) dan Fluorida (F) lebih tinggi atau terjadi kenaikan nilai dibandingkan dengan aliran sungai yang berada di Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa yang dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat di sekitar sungai seperti limbah pertanian dan limbah domestic dari masyarakat dan juga bisa disebabkan karena terjadinya proses pelarutan batuan dan mineral, terutama oksida, sulfida, karbonat dan silikat yang mengandung logam-logam tersebut dan terbawa oleh sedimen yang berada pada dasar sungai. Limbah cair yang berasal dari kegiatan pertanian tidak dapat dilihat secara kasat mata, oleh karena itu identifikasi zat pencemar berupa limbah cair pada penelitian ini adalah dari penggunaan pupuk dan pestisida yang digunakan oleh petani. Proses pelarutan batuan dan mineral dan lahan pemukiman yang ada di sekitar aliran sungai juga mempunyai kontribusi terhadap peningkatan kadar Besi (Fe) dan Fluorida (F). Dalam siklus pelarutan kimia mineral silikat seperti olivin, piroksen, dan amfibol memainkan peran penting dalam melepaskan besi ke dalam perairan alami. Proses pelapukan kimia ini melibatkan pemecahan mineral-mineral tersebut di dalam air dengan menggunakan karbon dioksida, yang mengarah pada pembentukan mineral sekunder seperti tanah liat dan pelepasan ion Besi (Fe^{2+}) yang larut. Kadar besi di sungai dapat dipengaruhi secara signifikan oleh pembuangan limbah domestik. Detergen rumah tangga, pipa besi, dan sumber besi lainnya dalam limbah domestik dapat berkontribusi pada konsentrasi besi yang tinggi dalam badan air penerima, memengaruhi kualitas air dan kehidupan akuatik. Sementara untuk parameter Fecal Coliform terjadi penurunan konsentrasi nilai pada aliran sungai yang berlokasi di hilir sungai yang bermuara di Danau Tondano. Hal ini bisa disebabkan karena perbedaan kondisi dan aktivitas masyarakat di sekitar sungai juga karena air mempunyai kemampuan untuk memurnikan diri. Proses pemurnian diri di danau dan sungai melibatkan penghilangan polutan dan mikroorganisme melalui sedimentasi, pengenceran, dan degradasi biologis bahan organik, yang sangat penting untuk mempertahankan kualitas air. Dan tingginya konsentrasi nilai Fecal Coliform pada aliran sungai yang berlokasi di Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa disebabkan karena kontaminasi feses manusia atau hewan. Kotoran manusia dapat menghasilkan bakteri pathogen berupa *Escherichia coli*, *Shigella sp.*, *Vibrio*

- cholerae, Campylobacter jejuni dan Salmonella merupakan anggota dari fecal coliform. Bakteri ini dapat menyebabkan terjadinya diare pada manusia. Escherechia coli apabila dikonsumsi terus-menerus dalam jangka panjang akan berdampak pada timbulnya penyakit seperti radang usus, diare, infeksi pada saluran kemih dan saluran empedu.
2. Strategi pengendalian pencemaran lingkungan dalam menjaga kualitas air sungai dapat dilakukan dengan beberapa upaya yaitu dengan mengidentifikasi sumber pencemaran, mengembangkan dan menerapkan teknologi pengolahan limbah seperti IPAL, mengurangi penggunaan pupuk kimia, dan meningkatkan peran serta masyarakat serta koordinasi pemerintah, sehingga diharapkan kualitas air di sungai Panasen dapat ditingkatkan dan dilindungi secara efektif.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada seluruh pihak terkait dalam proses penelitian yang telah mengizinkan peneliti untuk melakukan penelitian di Sungai Panasen, Desa Panasen, Kecamatan Kakas Barat, Kabupaten Minahasa.

Referensi

- Astriningrum, Y., Suryadi, H., & Azizahwati. (2010). Analisis Kandungan Ion Flourida pada Sampel Air Tanah dan Air PAM Secara Spektrofotometri. *Pharmaceutical Sciences and Research*, 7(3). <https://doi.org/10.7454/psr.v7i3.3460>
- Febrina, L., & Ayuna, A. (2015). Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Dalam Air Tanah Menggunakan Saringan Keramik. *Jurnal Teknologi*, 7(1).
- Kalaivani, V., Pujari, V. S., R, S. M., Hiremath, B., & Bevinaguddaiah, Y. (2014). Laparoscopic Cholecystectomy Under Spinal Anaesthesia vs. General Anaesthesia: A Prospective Randomised Study. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/9829.4700>
- Prayitno, A. (2009). *Uji Bakteriologi Air Baku dan Siap Konsumsi dari PDAM Surakarta Ditinjau dari Jumlah Bakteri Coliform* [Skripsi]. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rahayu, W. P., Nurjanah, S., & Komalasari, E. (2018). *Escherichia Coli: Patogenitas, Analisis dan Kajian Risiko*. IPB Press.
- Said, N. I., & Santoso, T. I. (2018). PENGHILANGAN POLUTAN ORGANIK DAN PADATAN TERSUSPENSI DI DALAM AIR LIMBAH DOMESTIK DENGAN PROSES MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR). *Jurnal Air Indonesia*, 8(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v8i1.2382>
- Santy, D. A., Adyatma, S., & Huda, N. (2017). Analisis Kandungan Bakteri Fecal Coliform pada Sungai Kuin Kota Banjarmasin. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(2), 51. <https://doi.org/10.22146/mgi.26551>
- Setyaningsih, W., & Sanjaya, R. S. (2022). The impact of agricultural waste on river water quality of kreo watershed in Semarang city. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1041(1), 012083. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1041/1/012083>
- Slamet, A., Rayhan, D., & Masduqi, A. (2023). Moving Bed Biofilm Reactor Untuk Menurunkan Bod Dan Nutrien Pada Air Limbah Industri Susu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(1), 63–74.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.