

Penentuan Unit Operasi dan Proses Berdasarkan Kualitas Air Baku di Sungai Landak Kecamatan Kuala Behe

Fenny Anita Pasaribu¹, Isna Apriani¹, Kiki Prio Utomo¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak;
e-mail: fennyanita0310@gmail.com

ABSTRAK

Pengolahan air oleh masyarakat sering dibuat seragam, tanpa memperhatikan kondisi kualitas air baku, sehingga menyebabkan tidak terpenuhinya efisiensi pengolahan karena kualitas air di setiap lokasi tidak selalu sama. Penelitian ini melakukan penentuan unit operasi dan proses pengolahan air berdasarkan kualitas air baku yang bersumber dari Sungai Landak, Sungai Behe, dan Sungai Dait. Dengan menentukan unit operasi dan proses, akan mengurangi biaya pengeluaran terhadap unit yang tidak terpakai. Parameter kualitas air yang melebihi baku mutu di ketiga sungai tersebut adalah pH, besi, mangan, kadmium, timbal, seng, *E.Coli*, dan TSS. Untuk menurunkan konsentrasi pencemar, diusulkan tiga alternatif yaitu alternatif pertama terdiri dari intake, penambahan basa, prekhlorinasi, sedimentasi, filtrasi (*ion exchange*), khlorinasi, dan reservoir; Alternatif kedua yang terdiri dari intake, penambahan basa, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi, dan reservoir; Serta alternatif ketiga yang terdiri dari intake, penambahan basa, khlorinasi, sedimentasi, filtrasi (adsorpsi), dan reservoir. Ketiga alternatif tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan alternatif yang paling efektif dan efisien menggunakan suatu metode pengambilan keputusan yaitu *Simple Additive Weighting (SAW)*. Berdasarkan hasil penilaian dengan metode SAW, didapatkan bahwa alternatif kedua merupakan kombinasi unit operasi dan proses yang paling sesuai untuk diterapkan pada air baku yang bersumber dari Sungai Landak, Sungai Behe, dan Sungai Dait.

Kata Kunci: Alternatif unit operasi dan proses, kualitas air, pengolahan air bersih, *Simple Additive Weighting*.

ABSTRACT

Water treatment by the community is often made uniform without regard to raw water quality conditions, thus causing treatment efficiency to not be met because the water quality in each location is not always the same. This study determines the unit operation and water treatment process based on the quality of raw water sourced from the Landak River, Behe River, and Dait River. By determining the unit operations and processes, it will reduce the cost of spending on unused units. Water quality parameters that exceeded the quality standards in the three rivers were pH, iron, manganese, cadmium, lead, zinc, *E.Coli*, and TSS. To reduce pollutant concentrations, three alternatives are proposed: the first consists of intake, the addition of base, prechlorination, sedimentation, filtration (*ion exchange*), chlorination, and reservoir; the second consists of intake, addition of base, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, disinfection, and reservoir; and the third consists of intake, addition of base, chlorination, sedimentation, filtration (adsorption), and reservoir. The three alternatives are then analyzed to determine the most effective and efficient alternative using a decision-making method, namely *Simple Additive Weighting (SAW)*. Based on the results of the evaluation using the SAW method, it was found that the second alternative is a combination of unit operations and processes that is most suitable to be applied to raw water sourced from the Landak River, Behe River, and Dait River.

Keywords: Alternative unit operations and processes, water quality, water treatment plant, *Simple Additive Weighting*.

Citation: Pasaribu, F. A., Apriani, I., dan Utomo, K. P. (2023). Penentuan Unit Operasi dan Proses Berdasarkan Kualitas Air Baku Sungai Landak Kecamatan Kuala Behe. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 187-199. doi: 10.14710/jil.21.1.187-199

1. Pendahuluan

Sungai Landak merupakan sumber air baku utama yang berada di Kabupaten Landak, Provinsi Kalimantan Barat dan memiliki kontribusi untuk memenuhi kebutuhan hidup masyarakat seperti mandi, mencuci, memasak, dan prasarana transportasi bagi masyarakat. Sungai Landak sebagai air baku tidak dapat langsung digunakan oleh masyarakat karena kondisinya yang kurang baik. Air sungai perlu diolah terlebih dahulu sehingga memenuhi persyaratan air bersih Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 sebelum digunakan.

Wilayah di sekitar Sungai Landak masih banyak yang belum memiliki pengolahan air bersih dan walaupun sudah ada yang memiliki, namun pengolahannya dibuat seragam tanpa memperhatikan kondisi kualitas air. Hal ini menyebabkan tidak terpenuhinya efisiensi pengolahan, karena kualitas air tidak selalu sama di setiap wilayah. Pengolahan dalam bentuk unit operasi dan proses perlu dikaji kualitas air pada sumbernya terlebih dahulu, untuk mengetahui parameter yang telah melewati ambang batas baku mutu. Parameter tersebut kemudian akan dianalisis untuk menentukan unit operasi dan proses yang paling sesuai dengan kondisi kualitas airnya.

Penentuan unit operasi dan proses yang tepat dan efisien diharapkan dapat mengurangi biaya pengeluaran untuk penyediaan air bersih (Priambodo, 2017).

Unit operasi merupakan langkah dasar cara pengolahan air baik air minum maupun air buangan, penyisihan aerosol dan partikel padat dari udara, dengan memanfaatkan sifat fluida dan karakteristik fisik yang terkandung di dalamnya. Sebagian besar unit operasi didasarkan secara mekanis pada proses transportasi mendasar dari perpindahan massa, perpindahan panas, dan aliran fluida (perpindahan momentum) (McCabe et al., 1993). Unit operasi dalam pengolahan air meliputi screen, mixing, sedimentasi, flotasi, filtrasi, aerasi, dan kombinasi lainnya yang sesuai dengan kebutuhan spesifik pengguna. Sedangkan unit proses merupakan proses-proses utama yang digunakan dalam pengolahan air minum dan air limbah, yang melibatkan proses secara kimia dan biologi. Pertukaran ion, adsorpsi, pemisahan membran, aerasi, pelunakan air, perlakuan biologis, dan desinfeksi adalah unit proses yang biasa ditemukan pada pengolahan air (Hendricks, 2006).

Penelitian ini akan melakukan penentuan unit operasi dan proses pengolahan air bersih berdasarkan kualitas air baku serta menerapkan prinsip tersebut pada Sungai Landak, serta anak sungai Landak yaitu Sungai Behe dan Sungai Dait yang berada di Kecamatan Kuala Behe. Untuk menentukan unit operasi dan proses yang paling sesuai digunakan metode pengambilan keputusan *Simple Additive Weighting* (SAW). SAW merupakan sub-metode dari metode *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) dan merupakan teknik keputusan multi atribut yang sederhana serta paling sering digunakan (Suyono, 2018). Metode SAW menyeleksi alternatif terbaik dari

beberapa alternatif yang ada berdasarkan kriteria-kriteria yang ditentukan dengan melakukan perankingan untuk mengetahui nilai tertinggi sampai terendah. Alternatif dengan nilai tertinggi merupakan alternatif yang terbaik. Kelebihan dari metode SAW yaitu kesederhanaannya dalam melakukan penilaian secara lebih tepat karena didasarkan pada nilai kriteria dan bobot preferensi yang sudah ditentukan (Sunarti, 2018). Dengan menerapkan metode SAW, dapat mempermudah pemilihan alternatif terbaik dan memberikan hasil rekomendasi yang akurat dan sesuai dengan kriteria pemilihan.

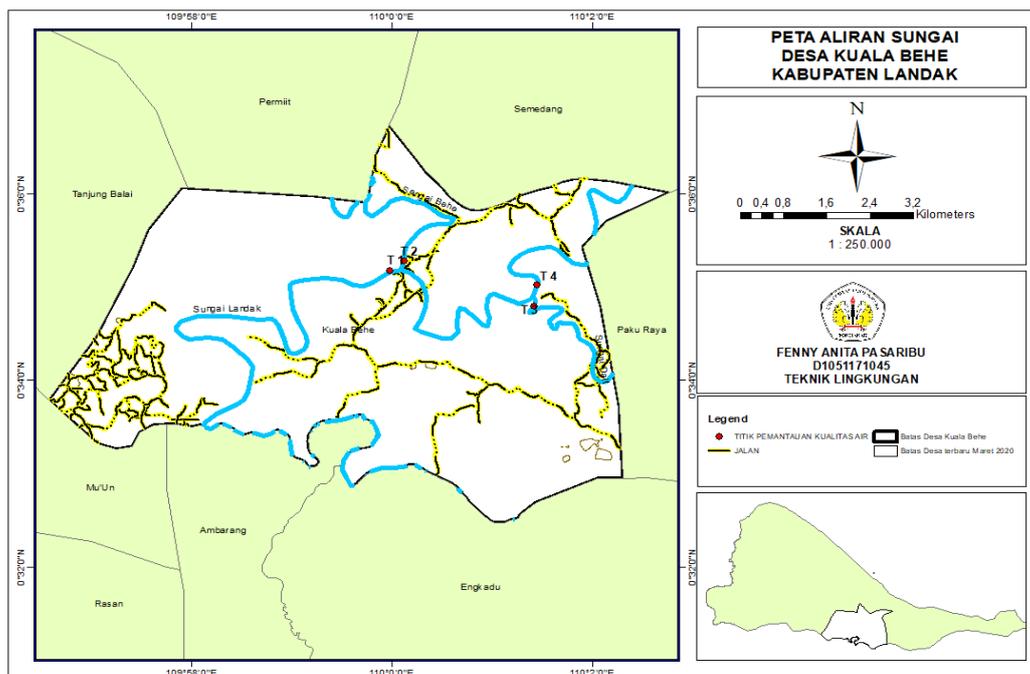
Kecamatan Kuala Behe merupakan satu dari beberapa kecamatan di Kabupaten Landak dengan perkembangan yang pesat dan kebutuhan air bersih untuk keperluan higiene sanitasinya sangat besar. Kondisi Kecamatan Kuala Behe yang belum seluruhnya mendapatkan akses air bersih dari PDAM, sehingga membutuhkan pengolahan air untuk mencukupi ketersediaan air bersih. Penentuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kondisi kualitas air di Sungai Landak, Sungai Behe, dan Sungai Dait sehingga dapat dilakukan penentuan unit operasi dan proses pengolahan air yang paling sesuai untuk diterapkan pada kondisi dari ketiga sungai tersebut dengan menggunakan metode SAW.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Landak, Kecamatan Kuala Behe dengan waktu penelitian dimulai dari bulan Desember 2021 hingga April tahun 2022. Titik T1 dan T4 mewakili Sungai Landak, titik T2 mewakili Sungai Behe, dan titik T3 mewakili Sungai Dait.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Pengumpulan Data

Jenis data yang dikumpulkan berupa data sekunder dan data primer. Data sekunder yang digunakan yaitu data kualitas air Sungai Landak tahun 2021, yang didapat dari Bidang Penelitian dan Pengembangan, Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kabupaten Landak, serta data kualitas air baku Sungai Landak dari Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup Kabupaten Landak Tahun 2020. Sedangkan data primer diperoleh dari hasil observasi kondisi eksisting pada empat titik lokasi pemantauan di Sungai Landak, yang meliputi, aktivitas masyarakat, sumber pencemar, dan kemudahan akses.

2.3 Analisis Data

Data sekunder dianalisis dan ditentukan parameter kualitas air yang melebihi baku mutu. Baku mutu yang digunakan mengacu pada PP Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI Tentang Baku Mutu Air Nasional. Pada penelitian ini, akan menggunakan standar kualitas air sungai pada kelas satu karena sesuai dengan peruntukannya yaitu sebagai air baku yang akan diolah menjadi air bersih untuk keperluan higiene sanitasi.

2.4 Pembuatan Tabel Penyisihan

Berdasarkan hasil analisis data, kemudian dibuat tabel eliminasi. Tabel eliminasi berisi alternatif unit pengolahan yang mengacu pada SNI 7508: 2011 tentang Tata Cara Penentuan Jenis Unit Instalasi Pengolahan Air Berdasarkan Sumber Air Baku. Selain itu apabila terdapat parameter kualitas air yang tidak memiliki alternatif pengolahan pada SNI, maka digunakan literatur tambahan yaitu Teknologi Pengolahan Terbaik (*Best Available Technology*) oleh US EPA.

2.5 Penentuan dan Rekomendasi Unit Operasi dan Proses

Analisis alternatif unit operasi dan proses untuk menentukan pengolahan yang efektif dan efisien menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW). Tahapan dari metode SAW adalah sebagai berikut (Sunarti, 2018):

1. Menentukan kriteria (C_j) untuk dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan. Kriteria kemudian dibagi menjadi dua yaitu kriteria *benefit* dan kriteria *cost*. Kriteria keuntungan (*benefit*) merupakan kriteria yang memberikan keuntungan bagi pengambil keputusan, sedangkan kriteria biaya (*cost*) merupakan kriteria yang menimbulkan biaya bagi pengambil keputusan. Pada penelitian ini kriteria yang memberikan keuntungan yaitu kriteria dari aspek teknologi dan aspek lingkungan, sedangkan kriteria yang menimbulkan biaya dari aspek ekonomi. Adapun kriteria pemilihan dapat dilihat pada Tabel 3.

2. Menentukan nilai rating kecocokan setiap alternatif unit operasi dan proses pada setiap kriteria. Standar nilai SAW yang digunakan pada setiap kriteria dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Standar Nilai SAW untuk Kriteria Keuntungan (*Benefit*)

| Nilai | Keterangan |
|-------|---------------|
| 1 | Sangat Rendah |
| 2 | Rendah |
| 3 | Cukup |
| 4 | Tinggi |
| 5 | Sangat Tinggi |

Tabel 2. Standar Nilai SAW untuk Kriteria Biaya (*Cost*)

| Nilai | Keterangan |
|-------|--------------|
| 1 | Sangat Murah |
| 2 | Murah |
| 3 | Cukup |
| 4 | Mahal |
| 5 | Sangat Mahal |

3. Mendefinisikan bobot preferensi (W) atau tingkat kepentingan pada tiap kriteria. Kriteria pemilihan dan bobot preferensinya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Pemilihan dan Bobot Preferensi

| No | Kriteria Pemilihan (C) | Bobot Preferensi (W) | Deskripsi/Alasan Bobot |
|------------------------|--|----------------------|--|
| Aspek Teknologi | | | |
| 1 | Efisiensi penurunan pada proses pengolahan | 20% | Semakin tinggi efisiensi pengolahan maka semakin baik kualitas air yang dihasilkan. |
| 2 | Fleksibilitas dari sistem pengolahan terhadap fluktuasi kualitas air | 10% | Kemampuan dari pengolahan untuk mengolah air dengan kualitas yang berubah-ubah. |
| 3 | Konstruksi | 5% | Semakin mudah pembangunan instalasi pengolahan, maka akan semakin baik nilai konstruksi. |
| 4 | Operasional dan perawatan | 15% | Pengaruh pengoperasian dan perawatan unit pengolahan yang sesuai SOP, dengan cara kerja dan ketahanan sistem pengolahan air. |
| 5 | Ketersediaan bahan untuk pengolahan air | 5% | Ketersediaan material terhadap pembangunan konstruksi pengolahan air. |
| 6 | Kemungkinan kerusakan | 5% | Jika suatu pengolahan sangat memperhatikan faktor operasional dan perawatan yang dilakukan, maka kemungkinan terjadinya kerusakan kecil. |

| Aspek Ekonomi | | | |
|------------------|---|-----|--|
| 7 | Luas tanah yang dibutuhkan | 10% | Berkaitan dengan ketersediaan lahan yang ada terhadap pengolahan yang akan dipilih. |
| 8 | Pengoperasian unit dan biaya perawatan | 15% | Biaya yang akan dikeluarkan selama unit beroperasi, yang meliputi biaya energi yang dikeluarkan, bahan kimia yang digunakan, dan gaji pekerja. |
| 9 | Biaya konstruksi | 10% | Biaya konstruksi yang akan dikeluarkan pada awal pembangunan. |
| Aspek Lingkungan | | | |
| 10 | Keseimbangan ekologis, daya dukung lingkungan, dan penggunaan lahan | 5% | Berkaitan dengan residu yang akan diolah kembali sehingga tidak mencemari lingkungan dan penggunaan energi |

Sumber: Kusumadewi, 2019

- Membuat tabel rating kecocokan dari setiap alternatif pada setiap kriteria.
- Membuat sebuah matriks keputusan (X) yang dibentuk dari tabel rating kecocokan dari setiap alternatif pada setiap kriteria.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Menormalisasi matriks keputusan dengan melakukan perhitungan nilai rating kinerja ternormalisasi (Rij) dari alternatif (Ai) pada kriteria (Cj).

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\text{Max } x_{ij}}, \text{ untuk kriteria } \textit{benefit}. \quad (2)$$

$$R_{ij} = \frac{\text{Min } x_{ij}}{x_{ij}}, \text{ untuk kriteria } \textit{cost}. \quad (3)$$

Keterangan:

- Rij = Rating kinerja ternormalisasi
- Max xij = Nilai maksimum dari setiap kriteria
- Min xij = Nilai minimum dari setiap kriteria
- Xij = Nilai atribut yang dimiliki dari setiap Kriteria

- Elemen baris matriks ternormalisasi (R) kemudian dikali dengan bobot preferensi (W) yang bersesuaian dengan elemen kolom matrik, untuk kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan hasil akhir nilai preferensi (Vi) pada tiap alternatif.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$V_i = \sum_{j=1}^n W_j r_{ij}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Data kualitas air pada Tabel 4 menunjukkan bahwa beberapa parameter telah melebihi baku mutu, yaitu derajat keasaman (pH), besi (Fe), kadmium (Cd), seng (Zn), timbal (Pb), dan *E.Coli*. Selain itu, parameter mangan (Mn) juga melebihi baku mutu namun hanya pada lokasi T1 dan TSS pada T2.

Tabel 4. Kualitas Air Baku Sungai Landak, Sungai Behe, Sungai Dait

| Parameter | Unit | PP No. 22 Tahun 2021 Kelas 1 | Permenkes No. 32 Tahun 2017 | Titik Pemantauan | | | |
|---|------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|---------|---------|---------|
| | | | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| Temperatur | C | Dev 3 | Dev 3 | 26,5 | 25,6 | 25,7 | 25,2 |
| TDS | mg/L | 1000 | 1000 | 46 | 18 | 26 | 136 |
| TSS ^{*)} | mg/L | 40 | - | 38 | 45 | 26 | - |
| Kekeruhan (NTU) | NTU | - | 25 | 3,40 | 2,75 | 2,10 | 2,30 |
| Warna | Pt-Co Unit | 15 | 50 | 3,8 | 3,05 | 2,15 | 2,4 |
| Derajat keasaman (pH) | - | 6-9 | 6,5-8,5 | 5,61 | 5,55 | 5,64 | 5,87 |
| Sulfat (SO ₄ ²⁻) | mg/L | 300 | 400 | 23,720 | 27,47 | 34,017 | 34,601 |
| Nitrat (sebagai N) | mg/L | 10 | 10 | 3,271 | 3,527 | 3,920 | 3,560 |
| Nitrit (sebagai N) | mg/L | 0,06 | 1 | 0,0221 | 0,0119 | <0,020 | <0,020 |
| Fluorida (F ⁻) | mg/L | 1 | 1,5 | 0,0272 | 0,0291 | 0,0271 | 0,0241 |
| Sianida (CN ⁻) | mg/L | 0,02 | 0,1 | <0,0010 | <0,0010 | <0,0010 | <0,0010 |
| Merkuri (Hg) terlarut | mg/L | 0,001 | 0,001 | <0,0002 | <0,0002 | <0,0002 | <0,0002 |
| Arsen (As) terlarut | mg/L | 0,05 | 0,05 | <0,0010 | <0,0010 | <0,0010 | <0,0010 |
| Selenium (Se) terlarut | mg/L | 0,01 | 0,01 | <0,0010 | <0,0010 | <0,0010 | <0,0010 |
| Besi (Fe) terlarut | mg/L | 0,3 | 1 | 1,520 | 1,451 | 0,3934 | 0,6112 |
| Kadmium (Cd) terlarut | mg/L | 0,01 | 0,005 | 0,0558 | 0,0565 | 0,0553 | 0,0551 |
| Mangan (Mn) terlarut | mg/L | 0,1 | 0,5 | 0,1531 | 0,0423 | 0,0883 | 0,0368 |
| Seng (Zn) terlarut | mg/L | 0,05 | 15 | 0,1173 | 0,1021 | 0,1312 | 0,1203 |
| Timbal (Pb) terlarut | mg/L | 0,03 | 0,05 | 0,0956 | 0,0842 | 0,0908 | 0,0722 |
| Kromium heksavalen (Cr(VI)) | mg/L | 0,05 | 0,05 | 0,0271 | 0,0265 | 0,0344 | 0,0294 |
| Deterjen total | mg/L | 0,2 | 0,05 | 0,0161 | 0,0117 | 0,0100 | 0,0082 |
| <i>E.Coli</i> | CFU/100 mL | - | 0 | 29 | 25 | 5 | 4 |
| Total Bakteri <i>Coliform</i> | CFU/100 mL | - | 50 | 42 | 28 | 13 | 8 |

Sumber: Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kabupaten Landak Tahun 2021 dan *) Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Landak Tahun 2020

Keterangan:

- : Parameter yang melebihi baku mutu
- T1 : Sungai Landak setelah pertemuan dengan Sungai Behe

- T2 : Hulu muara Sungai Behe
- T3 : Hulu muara Sungai Dait
- T4 : Sungai Landak sebelum pertemuan dengan Sungai Dait

3.1 Analisis Parameter Kualitas Air yang Melebihi Baku Mutu

a. Derajat Keasaman (pH)

Konsentrasi pH pada semua lokasi tidak sesuai dengan baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Kelas I dan Permenkes No 32 Tahun 2017. Konsentrasi pH pada T1 sebesar 5,61. Titik T1 merupakan pusat pemukiman di Desa Kuala Behe sehingga ditemukan banyak aktivitas masyarakat yang menggunakan air sungai. Aktivitas lain yang ditemukan di titik ini ialah penambangan emas mengakibatkan menurunnya konsentrasi pH karena proses penggalian tanah dan penghancuran batuan menyebabkan kondisi keasaman meningkat (Oktaria, 2015). Konsentrasi pH pada hulu Sungai Landak (T4) sebesar 5,87. Konsentrasi pH di lokasi ini merupakan konsentrasi yang lebih baik dibanding dengan titik lainnya, namun tetap tergolong perairan yang bersifat asam karena berada dibawah baku mutu. Aktivitas yang ditemukan pada lokasi ini ialah perkebunan kelapa sawit dan penambangan pasir, sebagai sumber pencemar yang mengakibatkan turunnya pH.

Konsentrasi pH pada Sungai Behe (T2) sebesar 5,55 dan merupakan nilai pH terendah dari lokasi lain. Aktivitas yang ditemukan pada daerah ini ialah penambangan emas serta pemukiman penduduk di sekitar sungai. Aktivitas penambangan emas mengakibatkan kondisi keasaman perairan meningkat (Oktaria, 2015).

Konsentrasi pH pada Sungai Dait (T3) sebesar 5,64. Konsentrasi pH rendah disebabkan oleh aktivitas perkebunan kelapa sawit di sekitar sungai. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Johan (2011) yang mengatakan bahwa proses dekomposisi perkebunan menghasilkan senyawa yang bersifat asam dan dapat menyebabkan nilai pH menjadi rendah.

b. Besi (Fe)

Konsentrasi besi pada semua lokasi melebihi ambang batas baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Kelas I. Konsentrasi besi pada Sungai Landak (T1) sebesar 1,520 mg/L merupakan konsentrasi tertinggi dibanding pada tiga lokasi lainnya. Hal ini dikarenakan pada titik T1 terdapat banyak aktivitas penambangan emas yang dilakukan oleh masyarakat. Selain itu, karena posisinya yang berada di bagian hilir, serta aliran dari kedua anak sungai yang masuk ke Sungai Landak menyebabkan jumlah konsentrasi besi lebih banyak di titik ini.

Konsentrasi besi pada hulu Sungai Landak (T4) sebesar 0,6112 mg/L. Sumber pencemar besi pada wilayah ini yaitu adanya aktivitas penambangan pasir di pinggir sungai. Penambangan pasir yang dilakukan masyarakat mengakibatkan naiknya garam besi di dasar sungai sehingga masuk ke dalam perairan.

Konsentrasi besi pada Sungai Behe (T2) sebesar 1,451 mg/L. Sama halnya pada lokasi T1, sumber pencemar yang mengakibatkan tingginya konsentrasi besi di daerah ini juga diakibatkan oleh aktivitas

penambangan emas yang dilakukan oleh masyarakat. Sedangkan pada Sungai Dait (T3) konsentrasinya sebesar 0,3934 mg/L, tidak setinggi konsentrasi besi pada tiga titik lainnya. Konsentrasi besi yang rendah di daerah ini diakibatkan karena sumber pencemar yang tidak sebanyak di tiga titik lain. Sumber pencemar besi di Sungai Dait ialah aktivitas penambangan pasir.

c. Kadmium (Cd)

Konsentrasi kadmium pada Sungai Landak (T1) sebesar 0,0558 mg/L. Sumber pencemar kadmium pada daerah ini adalah pengelupasan cat pada perahu motor yang digunakan sebagai alat transportasi. Selain itu, sumber pencemar juga berasal dari aktivitas penambangan emas akibat adanya proses penggalian tanah dan penghancuran batuan yang menyebabkan kondisi keasaman meningkat sehingga melarutkan kadmium dalam bentuk mineral CdS (kadmium sulfida) (Oktaria, 2015). Letak pengambilan sampel di lokasi ini yang merupakan bagian hilir Sungai Landak menyebabkan konsentrasi kadmium pada T1 lebih besar dibanding T4 yang konsentrasinya sebesar 0,0551 mg/L. Pada T4, sumber pencemar kadmium yaitu dari pupuk kimia yang banyak digunakan oleh perkebunan sehingga kadmium terserap ke dalam tanah dan masuk ke dalam perairan sungai (Sutrisno, 2015). Dalam aktivitas perkebunan atau pertanian, pupuk yang digunakan dapat mengandung logam berat. Kandungan kadmium di dalam pupuk kandang, pupuk Tithonia, pupuk kompos dan pupuk fosfat adalah 0,56-1,42 ppm (Khatimah, 2006).

Konsentrasi kadmium pada Sungai Behe (T2) sebesar 0,0565 mg/L. Sumber pencemar kadmium di T2 ialah cat yang mengelupas pada alat transportasi perahu motor serta aktivitas penambangan emas yang menyebabkan masuknya mineral CdS ke perairan. Selain itu, adanya aktivitas pertanian yang menggunakan pestisida pada daerah ini juga mengakibatkan adanya kandungan logam kadmium pada Sungai Behe.

Konsentrasi kadmium pada Sungai Dait (T3) sebesar 0,0553 mg/L. Pada lokasi ini kadmium berasal dari cat yang mengelupas pada alat transportasi perahu motor. Selain itu, sumber pencemar lainnya pada wilayah ini adalah perkebunan dan pertanian di sepanjang sungai. Kandungan kadmium pada pupuk yang digunakan oleh aktivitas perkebunan dan pertanian akan terserap masuk ke dalam tanah sehingga mencemari air tanah, dan selanjutnya akan masuk ke dalam perairan sungai.

d. Mangan (Mn)

Konsentrasi mangan menunjukkan pada Sungai Landak (T1) melebihi baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Kelas I, sedangkan pada ketiga titik lainnya tidak melebihi baku mutu namun pada T3 sudah mendekati nilai ambang batas baku mutu. Konsentrasi mangan pada T1 lebih tinggi dibanding dengan lokasi lainnya disebabkan karena posisinya

yang berada di bagian hilir, serta aliran dari kedua anak sungai yang masuk ke Sungai Landak menyebabkan jumlah konsentrasi mangan lebih banyak di titik ini. Konsentrasi mangan yang tinggi pada T1 disebabkan oleh aktivitas penambangan emas di kawasan aliran sungai Landak. Aktivitas penambangan emas merupakan salah satu sumber pencaharian utama masyarakat di Kecamatan Kuala Behe sehingga ditemukan banyak penambangan emas di sepanjang sungai. Menurut Normaningsih (2018), adanya kegiatan penggalian lapisan tanah pada aktivitas penambangan menyebabkan terangkatnya endapan senyawa oksida mangan ke permukaan dan mengakibatkan terlarutnya kembali senyawa tersebut ke dalam perairan.

e. Seng (Zn)

Konsentrasi seng di semua lokasi melebihi baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Kelas I. Konsentrasi seng pada Sungai Landak (T1) sebesar 0,1173 mg/L. Sumber pencemar seng di wilayah ini yaitu berasal dari pupuk yang digunakan oleh penduduk pada aktivitas pertanian. Penelitian yang dilakukan oleh Patty di Sungai Lowatag Sulawesi Utara, peningkatan konsentrasi seng di perairan dapat disebabkan adanya aktivitas pertanian yang menggunakan pupuk (Patty, 2018). Sedangkan pada T4, konsentrasi seng sebesar 0,1203 mg/L. Sumber pencemar seng pada lokasi ini yaitu aktivitas perkebunan kelapa sawit sebagai sumber utama unsur seng masuk ke dalam perairan. Seng berasal dari pupuk yang digunakan pada perkebunan kelapa sawit.

Konsentrasi seng pada Sungai Behe (T2) sebesar 0,1021 mg/L. Pada lokasi ini, sumber pencemar berasal dari pemukiman penduduk yang membuang limbah domestiknya secara langsung ke sungai. Selain itu, penduduk juga melakukan aktivitas pertanian menggunakan pupuk pestisida sehingga menyebabkan masuknya unsur seng ke perairan. Pencemaran seng juga berasal dari sumber alami yang berupa residu pengikisan batu mineral di sepanjang sungai (Palar, 2008).

Konsentrasi seng pada Sungai Dait (T3) sebesar 0,1312 mg/L. Sumber utama unsur seng pada daerah ini adalah dari penggunaan pupuk kelapa sawit yang mengandung unsur seng. Perkebunan kelapa sawit yang berada di sekitar Sungai Dait menggunakan pupuk dengan kandungan unsur seng. Unsur seng pada pupuk berperan dalam enzimatik dan membantu pembentukan hormon pertumbuhan tanaman.

f. Timbal (Pb)

Konsentrasi tertinggi timbal yaitu pada Sungai T1 dan konsentrasi terendah pada T4. Hal ini terjadi karena posisi T1 yang berada di bagian hilir, serta aliran dari kedua anak sungai yang masuk ke Sungai Landak menyebabkan jumlah konsentrasi timbal lebih tinggi di titik ini. Konsentrasi logam berat timbal pada perairan di Kecamatan Kuala Behe dipengaruhi oleh masuknya buangan yang

mengandung logam berat seperti limbah domestik dan limbah pertanian (Darmono, 1995).

Konsentrasi timbal di Sungai Landak (T1) sebesar 0,0956 mg/L. Pada lokasi ini, sumber pencemar timbal yaitu dari limbah domestik, bahan bakar bensin yang digunakan untuk perahu motor, serta aktivitas pertanian. Aktivitas pertanian yang menggunakan pupuk dengan kandungan timbal apabila digunakan secara rutin akan menyebabkan timbal terakumulasi di dalam air tanah dan kemudian akan masuk ke perairan sungai (Khatimah, 2006). Sedangkan pada T4 konsentrasi timbal sebesar 0,0722 mg/L. Pada lokasi ini, sumber timbal berasal dari aktivitas perkebunan yang menggunakan pupuk dengan kandungan logam berat timbal. Untuk sumber pencemar dari limbah antropogenik sangat jarang ditemukan pada daerah ini, karena pada lokasi ini tidak terdapat pemukiman penduduk.

Konsentrasi timbal pada Sungai Behe (T2) sebesar 0,0842 mg/L. Sumber pencemar di lokasi ini sama seperti di lokasi T1, yaitu berasal dari limbah domestik, perahu motor yang digunakan sebagai sarana transportasi, dan akibat adanya aktivitas pertanian yang menggunakan pupuk dengan kandungan logam berat timbal. Untuk konsentrasi timbal pada Sungai Dait (T3) ialah sebesar 0,0908 mg/L. Sumber pencemar timbal di lokasi ini yaitu dari aktivitas perkebunan di sepanjang Sungai Dait yang menggunakan pupuk dengan kandungan timbal.

g. Padatan Tersuspensi Total (TSS)

Konsentrasi TSS pada T2 melebihi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 Kelas I yaitu sebesar 45 mg/L. Di titik lainnya, parameter TSS belum melebihi baku mutu namun pada T1, konsentrasi TSS hampir mendekati ambang batas baku mutu. Untuk data kualitas TSS pada T4 belum tersedia namun untuk Sungai Landak, data kualitas TSS sudah diwakilkan pada T1. Konsentrasi TSS pada T1 dan T2 lebih tinggi dibandingkan dengan T3 karena terdapat lebih banyak aktivitas penduduk di kedua lokasi tersebut. Masyarakat banyak membuang limbah domestik mereka langsung ke sungai menyebabkan bahan organik tinggi pada kedua lokasi tersebut. Bahan organik tinggi mengakibatkan TSS juga tinggi, karena TSS merupakan salah satu kandungan bahan organik yang ada di perairan (Supriyantini, 2017).

h. *E.Coli*

Konsentrasi *E.Coli* di empat lokasi penelitian melebihi ambang baku mutu Permenkes No 32 Tahun 2017 tentang standar air bersih untuk keperluan higiene sanitasi. Konsentrasi *E.Coli* yang paling tinggi terdapat pada Sungai Landak (T1) dan Sungai Behe (T2). Kedua lokasi tersebut merupakan daerah yang dekat dengan pemukiman penduduk. Pada Sungai Dait (T3) dan hulu Sungai Landak (T4), konsentrasi *E.coli* tidak sebanyak T1 dan T2 karena pada daerah ini pemukiman penduduk relatif sedikit dan jauh dari sungai.

3.2 Penyisihan Alternatif Pengolahan

Pemilihan unit operasi dan proses menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7508:2011 tentang Tata Cara Penentuan Jenis Unit Instalasi Pengolahan Air Berdasarkan Sumber Air Baku. Selain itu, juga menggunakan teknologi pengolahan terbaik (*best available technology*) oleh Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US EPA) yang digunakan untuk menentukan alternatif unit pada parameter kualitas air yang tidak dicantumkan oleh SNI. Berikut merupakan tabel penyisihan unit yang berisi parameter yang melebihi baku mutu, alternatif unit, serta efisiensi pengolahannya.

Pada penelitian ini dibuat tiga alternatif kombinasi unit operasi dan proses yang paling mungkin diterapkan di Kecamatan Kuala Behe. Karena parameter kualitas air ketiga sungai tersebut hampir sama, maka pengolahan air bersih ini dapat digunakan pada semua lokasi penelitian. Penentuan alternatif dilakukan dengan mengeliminasi alternatif unit yang hanya dapat menurunkan satu parameter saja, dan memilih alternatif unit yang dapat menurunkan beberapa parameter sekaligus agar mengurangi pembangunan unit yang berlebihan. Untuk memudahkan pemilihan, maka digunakan metode matriks berikut.

Tabel 5. Penyisihan Unit

| No | Parameter | Alternatif Unit | Efisiensi Pengolahan | Sumber |
|----|--------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1. | pH | Penambahan asam atau basa | - | - |
| 2. | Besi (Fe) | Aerasi | 98,34% | Al Kholif (2020) |
| | | Pembubuhan klorin | 91,51% | Dwiputri (2021) |
| | | Pembubuhan permanganate | 97% | Elsheikh (2020) |
| 3. | Kadmium (Cd) | Koagulasi | 90% | Purkayastha (2014) |
| | | Koagulasi | 99,5% | Huang (2009) |
| | | Ion Exchange | 92,43% | Sanak-Rydlowska (2016) |
| | | Filtrasi Membran | 97% | Bhowmick (2021) |
| | | Adsorpsi | 97,6% | Kahrizi (2018) |
| | | Reverse Osmosis | >95% | US EPA (2018) |
| | | Lime softening | 98% | Mines (2014) |
| 4. | Mangan (Mn) | Aerasi | 97,40% | Al Kholif (2020) |
| | | Pembubuhan klorin | 96,40% | Istingani (2017) |
| | | Pembubuhan klorin | 95,73% | Dwiputri (2021) |
| | | Pembubuhan permanganate | 90% | Elsheikh (2020) |
| 5. | Seng (Zn) | Koagulasi | 99% | Pang (2011) |
| | | Ion Exchange | 91,5% | Jha (2005) |
| | | Filtrasi Membran | 98% | Ali (2018) |
| | | Adsorpsi | 93,6% | Wingenfelder et al. (2005) |
| 6. | Timbal (Pb) | Koagulasi | 96% | Kusdarini (2016) |
| | | Koagulasi | 83,7% | Wu (2011) |
| | | Ion Exchange | 95,7% | Kusdarini (2017) |
| | | Ion Exchange | 99,87% | Sanak-Rydlowska (2016) |
| | | Ion Exchange | 96,03% | Merganpour (2015) |
| | | Filtrasi Membran | 98% | Sherugar (2021) |
| | | Adsorpsi | 99,5% | Wingenfelder et al. (2005) |
| | | Adsorpsi | 93,3% | Meena (2005) |
| 7 | TSS | Koagulasi | 84% | Rosariawari (2019) |
| 8 | E.Coli | Desinfeksi | 100% | Komala (2014) |

Tabel 6. Matriks Pemilihan Unit Operasi dan Proses

| No | Parameter | Alternatif Unit | | | | | | | | | |
|----|-----------|-----------------|---|---|---|---|----|----|----|----|---|
| | | B | A | K | M | C | IX | FM | Ad | LS | D |
| 1 | pH | √ | | | | | | | | | |
| 2 | Besi | | √ | √ | √ | | | | | | |
| 3 | Kadmium | | | | | √ | √ | √ | √ | √ | |
| 4 | Mangan | | | | | √ | √ | √ | √ | | |
| 5 | Timbal | | | | | √ | √ | √ | √ | | |
| 6 | Seng | | | | | √ | √ | √ | √ | | |
| 7 | TSS | | | | | √ | | | | | |
| 8 | E.Coli | | | √ | | | | | | | √ |

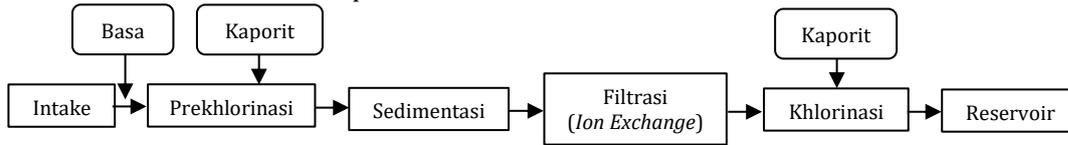
Keterangan:

- B : penambahan basa
- A : oksidasi dengan aerasi
- K : oksidasi dengan khlorinasi
- M : oksidasi dengan permanganat
- C : Koagulasi-flokulasi

- IX : Ion exchange
- FM : Filtrasi membran
- Ad : Adsorpsi
- LS : Lime Softening
- D : Desinfeksi

Berdasarkan Tabel 6, didapatkan tiga alternatif kombinasi unit operasi dan proses sebagai berikut:

(1) Alternatif Satu Kombinasi Unit Operasi dan Proses



Alternatif pertama diawali dengan unit intake yang berfungsi sebagai tempat penampungan air dari sungai, dan dilengkapi dengan bar screen untuk menyaring benda-benda yang ikut tergenang di dalam air seperti sampah, daun, ranting kayu dan lain-lain. Setelah itu, dilakukan penambahan basa untuk menaikkan pH sungai. Bahan kimia yang bersifat basa dan biasa ditambahkan pada pengolahan air adalah kapur karena harganya yang murah dan mudah di dapat. Selain itu, bahan kimia yang bersifat basa dan dapat menaikkan pH adalah polyphosphonate dan soda kaustik (Mines, 2014).

Tahapan pengolahan selanjutnya yaitu proses preklorinasi yang bertujuan mengoksidasi konsentrasi besi dan mangan di dalam air, mengurangi bakteri yang akan melewati filter, menghilangkan polutan dalam air seperti rasa dan bau, serta mencegah pertumbuhan jamur dan alga (Kawamura, 1991). Dengan penambahan basa yang dilakukan sebelum preklorinasi, diharapkan pH air dapat naik hingga mencapai netral, sehingga berada pada kondisi optimum yang akan berpengaruh baik terhadap efektivitas khlorinasi (Harianti, 2016).

Khlorin (Cl_2) adalah oksidator yang lebih kuat dibanding dengan oksigen. Pada proses khlorinasi terjadi oksidasi oleh khlorin terhadap besi terlarut (Fe^{2+}) dan mangan terlarut (Mn^{2+}) yang sulit diendapkan. Proses oksidasi pada khlorinasi mengubah besi dan mangan terlarut menjadi senyawa ferri (Fe^{3+}) dan mangan oksida yang tidak larut dalam air dan cenderung mengendap. Oleh karena itu, setelah proses khlorinasi akan dilakukan sedimentasi dan filtrasi. Proses khlorinasi lebih mudah dan lebih murah digunakan daripada proses oksidasi dengan unit aerasi. Di dalam proses khlorinasi unit peralatan yang digunakan relatif sederhana, yaitu terdiri dari sistem pembubuhan bahan kimia dan unit filtrasi. Bahan kimia yang biasa digunakan adalah gas khlorin atau kalsium hipoklorit (kaporit). Penggunaan kaporit lebih sering dilakukan karena bentuknya serbuk atau tablet yang mudah larut dalam air dan penggunaannya lebih mudah dibanding dengan gas khlorin.

Unit sedimentasi diletakkan setelah unit khlorinasi dan bersifat opsional untuk meningkatkan

efisiensi pengurangan endapan sebelum masuk ke dalam unit filtrasi. Unit sedimentasi juga dapat dilakukan tanpa menambahkan unit filtrasi apabila endapan yang terbentuk berukuran relatif besar sehingga dapat mengendap dengan sempurna dan tidak terdapat partikel-partikel halus, namun hal tersebut memerlukan waktu yang cukup lama (Joko, 2010).

Unit filtrasi merupakan unit yang umumnya digunakan untuk memisahkan endapan yang terbentuk akibat adanya proses oksidasi. Menurut Said (2005), media filter yang disarankan setelah proses oksidasi besi dan mangan dalam unit khlorinasi ialah menggunakan filter bertekanan dengan dua media yaitu pasir silika dan anthrasite. Pada unit filtrasi juga dikombinasikan dengan pengolahan dengan pertukaran ion (*ion exchange*).

Alternatif pertama menggunakan proses pertukaran ion (*ion exchange*) yang dikombinasikan dalam unit filtrasi dan bertujuan untuk menurunkan konsentrasi logam berat kadmium, timbal, dan seng. Pengolahan dengan pertukaran ion menggunakan resin penukar kation atau anion. Pada saat dikontakkan dengan resin penukar ion, ion terlarut yang ada di dalam air akan terserap ke resin penukar ion dan resin akan melepaskan ion lain. Proses pertukaran ion memiliki kapasitas yang terbatas karena resin dapat menjadi jenuh dan memerlukan proses regenerasi secara periodik untuk menghilangkan ion pengotor di dalam resin. Selain itu, monitoring kualitas air harus dilakukan secara teratur untuk mengetahui apakah resin masih berfungsi dengan baik atau harus diregenerasi. Resin yang biasa digunakan pada proses pertukaran ion adalah resin sintetis dan resin alami seperti zeolit alam. Namun zeolit alam memiliki beberapa kekurangan, diantaranya mengandung banyak pengotor dan kurang selektivitas dibandingkan resin sintetis (Kusdarini, 2017). Setelah melewati unit filtrasi, akan dilakukan proses post-khlorinasi yang bertujuan untuk membunuh mikroba sisa yang masih terikat di dalam air (Kawamura, 1991). Selanjutnya air akan dialirkan ke bak reservoir atau bak penampung sebelum disalurkan ke masyarakat.

(2) Alternatif Dua Kombinasi Unit Operasi dan Proses



Alternatif kedua memiliki unit yang berbeda untuk menurunkan konsentrasi logam berat yaitu menggunakan unit koagulasi-flokulasi. Ion logam berat yang terlarut dalam air akan berikatan dengan anion koagulan dan membentuk flok. Selain itu, untuk meningkatkan efisiensi penghilangan besi dan mangan di dalam air juga dapat dikombinasikan dengan unit koagulasi-flokulasi, terutama jika besi dan mangan berada dalam air dengan bentuk senyawa organik dan koloid. Dengan bantuan pembubuhan koagulan pada proses koagulasi, koloid di dalam air akan bergabung dan membentuk gumpalan (flok), kemudian akan mengendap dalam unit sedimentasi dan akan disaring dengan saringan pasir cepat.

Penggunaan utama unit koagulasi ialah untuk menghilangkan kekeruhan dan padatan tersuspensi total (TSS). Unit koagulasi fleksibel terhadap perubahan kualitas air dan kondisi air baku akibat terjadinya beberapa kondisi, seperti saat terjadinya hujan. Sebelum air masuk ke unit koagulasi, dilakukan pembubuhan yang berfungsi untuk menaikkan konsentrasi pH yang asam, sehingga pH berada pada kondisi netral dan optimum untuk proses pengolahan dengan koagulasi.

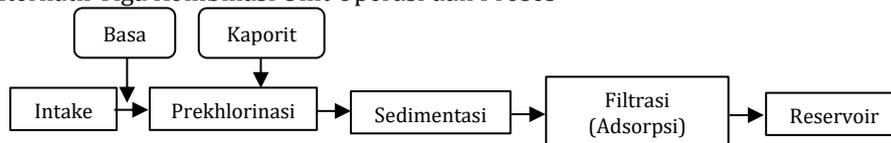
Proses koagulasi harus diikuti dengan proses flokulasi atau pengadukan lambat, yang akan membentuk penggumpalan flok-flok yang lebih besar. Dengan flok yang semakin besar, maka akan terjadi perbedaan berat jenis terhadap air dan flok akan lebih mudah mengendap pada bak sedimentasi (Joko, 2010).

Unit sedimentasi pada alternatif dua berfungsi untuk mengendapkan flok-flok yang dihasilkan dari hasil proses koagulasi-flokulasi. Dengan adanya unit

sedimentasi, beban pengolahan yang akan dilakukan oleh unit filtrasi berkurang sehingga media filter akan lebih tahan lama. Setelah melewati media filter, air kemudian akan diinjeksi dengan khlorin, yang berasal dari gas khlor atau kaporit pada proses desinfeksi.

Proses desinfeksi bertujuan untuk membunuh mikroba terutama yang bersifat patogen seperti bakteri *E.coli*. Pada proses ini juga diharapkan dapat terjadi proses oksidasi untuk menghilangkan besi dan mangan sisa yang ada di dalam air. Proses ini dilakukan setelah unit filtrasi karena pada proses sebelumnya sudah mampu untuk menurunkan konsentrasi besi dan mangan di dalam air. Selain itu, proses koagulasi-filtrasi yang dilakukan sebelum proses desinfeksi sangat efektif untuk mengurangi bahan organik, sehingga mengurangi pembentukan produk sampingan khlorin. Produk sampingan khlorin ini diakibatkan oleh adanya reaksi khlorin dengan bahan polutan organik dan bahan organik terlarut yang secara alami berada di air (Qasim *et al*, 2000). Oleh karena itu, pada alternatif dua, bahan polutan organik dan bahan organik terlarut akan dihilangkan melalui proses koagulasi-flokulasi, sehingga pada saat terjadi proses khlorinasi, bahan organik di dalam air telah dihilangkan dan proses reaksi antara bahan organik dan khlorin tidak dapat terjadi. Metode pengurangan produk sampingan khlorinasi dengan menghilangkan bahan organik terlebih dahulu akan lebih mudah dan murah dibanding dengan mencoba menghilangkan senyawa produk sampingan khlorin (Tanukusuma, 2017). Kemudian setelah melalui proses khlorinasi, air akan dialirkan ke bak reservoir atau bak penampung sebelum disalurkan ke masyarakat.

(3) Alternatif Tiga Kombinasi Unit Operasi dan Proses



Alternatif tiga diawali dengan unit intake, kemudian dilakukan penambahan basa untuk menaikkan pH air Sungai Landak, Sungai Behe dan Sungai Dait yang rendah. Dengan adanya penambahan basa, pH air diharapkan dapat naik hingga mencapai pH netral, sehingga berpengaruh baik terhadap efektivitas khlorinasi karena berada di kondisi yang optimum.

Air baku yang telah melalui penambahan basa, kemudian akan diinjeksi dengan kalsium hipoklorit (kaporit) atau gas klor dalam proses preklorinasi yang bertujuan untuk mengoksidasi parameter besi dan mangan sehingga konsentrasinya berkurang. Selain itu, preklorinasi juga dapat mengurangi bakteri khususnya bakteri patogen *E.Coli* yang akan melewati filter, menghilangkan polutan dalam air seperti rasa dan bau, serta mencegah pertumbuhan jamur dan alga. Proses oksidasi dengan khlorin yang

menghasilkan endapan besi dan mangan yang harus dihilangkan sehingga pada alternatif ini juga menggunakan unit sedimentasi dan unit filtrasi. Proses khlorinasi dilakukan pada awal pengolahan agar endapan besi dan mangan yang terbentuk, serta padatan lain yang masih tersisa pada air dapat dihilangkan pada proses sedimentasi dan filtrasi, sehingga akan meningkatkan efisiensi pengolahan. Unit filtrasi akan menggunakan multi media filter, sehingga pada pengolahan akan ditambahkan media adsorben agar terjadi proses adsorpsi pada unit filtrasi.

Alternatif tiga menggunakan proses adsorpsi untuk menurunkan parameter logam berat timbal, kadmium, dan seng yang melebihi baku mutu di Sungai Landak, Sungai Behe, dan Sungai Dait. Selain itu, proses adsorpsi juga dapat menurunkan parameter besi dan mangan walaupun tidak sebesar

proses oksidasi. Proses adsorpsi merupakan metode yang umum digunakan untuk mengolah air dengan kandungan logam berat karena memiliki konsep yang lebih sederhana dan ekonomis (Irhamni, 2017). Proses adsorpsi dengan karbon aktif juga dapat menghilangkan produk sampingan khlorinasi (CBP). Adsorben yang biasa digunakan dalam pengolahan air adalah karbon aktif.

3.3 Penentuan Unit Operasi dan Proses dengan Metode Simple Additive Weighting (SAW)

Hasil penilaian tiap alternatif unit operasi dan proses pada kriteria pemilihan dapat dilihat pada **Tabel 7** dan alasan pemberian nilai pada **Tabel 8**.

Tabel 7. Perbandingan Nilai Tiap Alternatif

| Kriteria (C) | Bobot (W) | Alternatif 1 | Alternatif 2 | Alternatif 3 |
|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| | | Nilai | Nilai | Nilai |
| C1 | 20% | 5 | 5 | 5 |
| C2 | 10% | 1 | 5 | 3 |
| C3 | 5% | 5 | 3 | 5 |
| C4 | 15% | 3 | 3 | 3 |
| C5 | 5% | 2 | 5 | 3 |
| C6 | 5% | 2 | 5 | 2 |
| C7 | 10% | 2 | 3 | 2 |
| C8 | 15% | 4 | 3 | 4 |
| C9 | 10% | 3 | 4 | 3 |
| C10 | 5% | 3 | 1 | 3 |

Nilai pada tiap alternatif dan kriteria pada Tabel 7 kemudian dibuat ke dalam bentuk matriks. Matriks keputusan (X) dibuat memanjang ke samping pada tiap alternatifnya sehingga ada tiga baris alternatif, yang terdiri dari sepuluh penilaian skor kriteria. Berikut merupakan matriks keputusan (X):

$$X = \begin{bmatrix} 5 & 1 & 5 & 3 & 2 & 2 & 2 & 4 & 3 & 3 \\ 5 & 5 & 3 & 3 & 5 & 5 & 3 & 3 & 4 & 1 \\ 5 & 3 & 5 & 3 & 3 & 2 & 2 & 4 & 3 & 3 \end{bmatrix}$$

Metode *Simple Additive Weighting* (SAW) memerlukan proses normalisasi matriks keputusan (X) ke skala yang dapat diperbandingkan dengan semua rating alternatif yang ada. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan rating kinerja ternormalisasi berdasarkan persamaan (2) untuk kriteria yang bersifat menguntungkan (*benefit*) dan (3) untuk kriteria berdampak pada biaya (*cost*). Berikut hasil perhitungan rating kinerja ternormalisasi (Rij) dari kriteria benefit dan kriteria cost.

Tabel 8 Rating Kinerja Ternormalisasi

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| A1 | 1,0 | 0,2 | 1,0 | 1,0 | 0,4 | 0,4 | 1,0 | 0,75 | 1,0 | 1,0 |
| A2 | 1,0 | 1,0 | 0,6 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,6 | 1,0 | 0,7 | 0,3 |
| A3 | 1,0 | 0,6 | 1,0 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 1,0 | 0,75 | 1,0 | 1,0 |

Selanjutnya dari Tabel 9 dibuat matriks ternormalisasi (R) hasil perhitungan rating kinerja ternormalisasi (Rij). Berikut merupakan matriks ternormalisasi (R):

$$R = \begin{bmatrix} 1,0 & 0,2 & 1,0 & 1,0 & 0,4 & 0,4 & 1,0 & 0,75 & 1,0 & 1,0 \\ 1,0 & 1,0 & 0,6 & 1,0 & 1,0 & 1,0 & 0,67 & 1,0 & 0,75 & 0,33 \\ 1,0 & 0,6 & 1,0 & 1,0 & 0,6 & 0,4 & 1,0 & 0,75 & 1,0 & 1,0 \end{bmatrix}$$

Nilai rating kinerja ternormalisasi (Rij) kemudian dikalikan dengan besarnya bobot tiap kriteria (W), kemudian dijumlahkan nilai preferensi sepuluh kriteria yang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 9 Nilai Preferensi dan Ranking Alternatif

| Kriteria (C) | Bobot (W) | Alternatif 1 | | Alternatif 2 | | Alternatif 3 | |
|----------------|-----------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|
| | | R1 | V1 | R2 | V2 | R3 | V3 |
| C1 | 20% | 1,00 | 0,2 | 1,00 | 0,20 | 1,00 | 0,20 |
| C2 | 10% | 0,20 | 0,02 | 1,00 | 0,10 | 0,60 | 0,06 |
| C3 | 5% | 1,00 | 0,05 | 0,60 | 0,03 | 1,00 | 0,05 |
| C4 | 15% | 1,00 | 0,15 | 1,00 | 0,15 | 1,00 | 0,15 |
| C5 | 5% | 0,40 | 0,02 | 1,00 | 0,05 | 0,60 | 0,03 |
| C6 | 5% | 0,40 | 0,02 | 1,00 | 0,05 | 0,40 | 0,02 |
| C7 | 10% | 1,00 | 0,10 | 0,67 | 0,07 | 1,00 | 0,10 |
| C8 | 15% | 0,75 | 0,11 | 1,00 | 0,15 | 0,75 | 0,11 |
| C9 | 10% | 1,00 | 0,10 | 0,75 | 0,08 | 1,00 | 0,10 |
| C10 | 5% | 1,00 | 0,05 | 0,33 | 0,02 | 1,00 | 0,05 |
| Total | | 0,82 | | 0,89 | | 0,87 | |
| Ranking | | 3 | | 1 | | 2 | |

Keterangan:

- C : Kriteria pemilihan
- W : Bobot
- Rij : Rating kinerja ternormalisasi
- Vij : Nilai preferensi (hasil perkalian bobot dan rating kinerja ternormalisasi)

Hasil perhitungan nilai preferensi (V) tertinggi yaitu pada alternatif 2 sebesar 0,89. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa alternatif kedua merupakan alternatif yang paling sesuai untuk diterapkan pada Sungai Landak, Sungai Behe, dan Sungai Dait. Penggunaan metode SAW dapat membantu dalam merencanakan pengolahan air secara sistematis terutama dalam pemilihan unit karena dilihat dari beberapa aspek yang kompleks (Tazkiaturrizki, 2020).

Penelitian sejenis sebelumnya telah dilakukan dengan judul *The Use of Multi-Criteria Analysis in Selecting Water Treatment Units in Sadu Water Treatment Plant, Bandung District, West Java Province, Indonesia*. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa alternatif terpilih untuk pengolahan air di Sadu ialah pengolahan air lengkap (koagulasi flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi) (Kusumadewi, 2019).

Tabel 10. Alasan Pemberian Nilai

| Kriteria | Alternatif 1 | Alternatif 2 | Alternatif 3 |
|--|---|---|--|
| Efisiensi penurunan (C1) | 5 | 5 | 5 |
| Keterangan | Efisiensi penurunan di atas 90% | Efisiensi penurunan di atas 90% | Efisiensi penurunan di atas 90% |
| Fleksibilitas terhadap fluktuasi kualitas air (C2) | 1 | 5 | 3 |
| Keterangan | Tidak fleksibel terhadap fluktuasi kualitas air. | Fleksibel terhadap fluktuasi kualitas air | Fleksibel terhadap penurunan kualitas air baku secara tiba-tiba namun perlu ditambah dengan unit lain. |
| Konstruksi (C3) | 5 | 3 | 5 |
| Keterangan | Konstruksi relatif mudah dan sederhana. | Konstruksi lebih sulit karena adanya unit koagulasi-flokulasi. | Konstruksi relatif mudah dan sederhana. |
| Operasional dan perawatan (C4) | 3 | 3 | 3 |
| Keterangan | Perlu adanya regenerasi resin <i>ion exchange</i> , operasional perlu dilakukan oleh tenaga profesional. | Tergantung pada tipe koagulator. | Perlu adanya regenerasi adsorben. |
| Ketersediaan bahan untuk pengolahan air (C5) | 2 | 5 | 3 |
| Keterangan | Resin susah didapat dan harganya cukup mahal, resin zeolit alami lebih mudah didapat namun kurang selektivitas. | Koagulan banyak tersedia di pasaran dengan harga yang murah. | Adsorben karbon aktif banyak tersedia di pasaran namun harganya cukup mahal. |
| Kemungkinan kerusakan (C6) | 2 | 5 | 2 |
| Keterangan | Perlu penambahan unit prasedimentasi untuk mengurangi beban pengolahan. | Tidak mudah rusak. | Perlu penambahan unit prasedimentasi untuk mengurangi beban pengolahan. |
| Luas tanah yang dibutuhkan (C7) | 2 | 3 | 2 |
| Keterangan | Tidak memerlukan tanah yang luas, karena bangunan unit lebih sedikit. | Memerlukan tanah yang luas untuk koagulator tipe hidraulis dan tidak memerlukan lahan yang luas untuk koagulator mekanis. | Tidak memerlukan tanah yang luas. |
| Biaya perawatan (C8) | 4 | 3 | 4 |
| Keterangan | Biaya perawatan resin yang perlu diaktifkan kembali dengan bahan kimia. | Perawatan tidak memerlukan biaya yang cukup besar untuk koagulator tipe hidraulis, sedangkan dengan tipe mekanis biaya perawatan lebih besar. | Pengolahan adsorpsi karbon aktif memerlukan biaya yang besar. |
| Biaya konstruksi (C9) | 3 | 4 | 3 |
| Keterangan | Biaya konstruksi murah karena bangunannya yang sederhana. | Biaya konstruksi mahal karena desain unit koagulasi-flokulasi lebih sulit dan bangunan yang besar. | Biaya konstruksi murah karena bangunannya yang sederhana. |
| Keseimbangan ekologis, daya dukung lingkungan (C10) | 3 | 1 | 3 |
| Keterangan | Penggunaan energi akibat pompa dan hasil pencucian (backwash) media filter. | Penggunaan energi akibat pompa, dan penggunaan koagulan pada unit koagulasi yang dapat menghasilkan lumpur. | Penggunaan energi akibat pompa, dan hasil pencucian (backwash) media filter |

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kualitas air baku Sungai Landak, Sungai Behe, dan Sungai Dait tercemar akibat sumber pencemar yang berasal dari pemukiman penduduk, aktivitas penambangan emas, aktivitas perkebunan kelapa sawit, dan aktivitas

penambangan pasir. Parameter kualitas air yang melebihi baku mutu di ketiga sungai tersebut ialah pH, besi, mangan, kadmium, timbal, seng, TSS dan *E.Coli*. Untuk menurunkan konsentrasi parameter direkomendasikan tiga alternatif unit operasi dan proses yaitu alternatif pertama yang terdiri dari

intake, penambahan basa, prekhlorinasi, sedimentasi, filtrasi (*ion exchange*), khlorinasi, dan reservoir; Alternatif kedua yang terdiri dari intake, penambahan basa, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi, dan reservoir; Serta alternatif ketiga yang terdiri dari intake, penambahan basa, khlorinasi, sedimentasi, filtrasi (adsorpsi), dan reservoir. Dengan menggunakan metode SAW dapat diketahui bahwa alternatif kedua adalah yang paling sesuai untuk diterapkan pada ketiga sungai.

Keterbatasan dari penelitian ini adalah kriteria pemilihan dan bobot preferensinya perlu disesuaikan pada setiap lokasi perencanaan pengolahan air. Hal ini dikarenakan kondisi eksisting dan sumber air baku perencanaan pengolahan air berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, S., Rehman, S. A. U., Shah, I. A., Farid, M. U., An, A. K., & Huang, H. (2018). Efficient removal of zinc from water and wastewater effluents by hydroxylated and carboxylated carbon nanotube membranes: Behaviors and mechanisms of dynamic filtration. *Journal of Hazardous Materials*.
- Al Kholif, M., Sugito, S., Pungut, P., & Sutrisno, J. (2020). Kombinasi Tray Aerator Dan Filtrasi Untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Sumur. *ECOTROPIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 14(1), 28-36.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Landak. 2021. *Kabupaten Landak dalam Angka Tahun 2021*. Ngabang: Badan Pusat Statistik.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 7508: 2011 tentang *Tata Cara Penentuan Jenis Unit Instalasi Pengolahan Air Berdasarkan Sumber Air Baku*.
- Bhowmick, K., Roy, S., Mukherjee, M., Sahoo, G. C., Majumdar, S., & Mondal, P. (2021). Removal of Cadmium by In-situ Cu Nanoparticle Enhanced Ceramic-supported-polymeric Composite NF Membrane. *Materials Today: Proceedings*, 47, 1496-1499.
- Darmono. S. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI Press. Jakarta. 140 p.
- Dwiputri, N. A., Azizah, M., & Nurlala, N. (2021). Effectiveness of Caporite to Reduce Concentration of Iron and Mangan in Ciliwung River Water As Raw Water PDAM. *Jurnal Sains Natural*, 11(1), 30-38.
- Elsheikh, M. A. E. S., Guirguis, H. S., & Amer, A. (2020). Removal of Iron and Manganese from Groundwater: A Study of Using Potassium Permanganate and Sedimentation. *MEJ. Mansoura Engineering Journal*, 42(3), 7-12.
- Harianti, H., dan Nurasia, N. 2016. Analisis Warna, Suhu, pH dan Salinitas Air Sumur Bor di Kota Palopo. *Prosiding*, 2(1).
- Hendricks, David W. 2006. *Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical*. USA: Taylor and Francis Group.
- Huang, C. H., Chen, L., & Yang, C. L. (2009). Effect of anions on electrochemical coagulation for cadmium removal. *Journal Separation and Purification Technology*, 65(2), 137-146.
- Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., dan Hasan, W. (2017). Kajian Akumulator Beberapa Tumbuhan Air dalam Meyerap Logam Berat Secara Fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2).
- Istingani, I., Noor, E., & Suprihatin, S. (2017). Peningkatan Kualitas Pengolahan Air Bersih dengan Perbaikan Proses Oksidasi (Studi Kasus di Instalasi Pengolahan Air PT. Jababeka). *Journal of Environmental Engineering and Waste Management*, 2(2), 259-298.
- Jha, M. K., & Kumar, V. (2005). Recovery Of Zinc From Aqueous Solutions By Ion Exchange Process-A Review. *Journal of Metallurgy and Materials Science*, 47(3), 119-128.
- Johan, T. I., & Ediwarman, E. (2011). Dampak Penambangan Emas Terhadap Kualitas Air Sungai Singingi Di Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 5(02), 168-183.
- Joko, T. 2010. *Unit Air Baku Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kahrizi, P., Mohseni-Shahri, F. S., & Moeinpour, F. (2018). Adsorptive Removal Of Cadmium From Aqueous Solutions Using NiFe₂O₄/Hydroxyapatite/Graphene Quantum Dots As A Novel Nano-Adsorbent. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 8(4), 441-452.
- Kawamura, S. 1991. *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Kementerian Kesehatan. 2017. Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum.
- Khatimah, H. (2006). Perubahan Konsentrasi Timbal dan Kadmiun Akibat Perlakuan Pupuk Organik dalam Sistem Budi daya Sayuran Organik. *Tugas Akhir Program Studi Kimia Institut pertanian Bogor*.
- Komala, P. S., & Agustina, F. (2014). Kinerja Kaporit dalam Penyisihan E. Coli pada Air Pengolahan PDAM. *Jurnal Teknik*, 21(2).
- Kusdarini, E. (2016). Kajian Metode Koagulasi Pada Pengolahan Air Sumur Mengandung Timbal Bervalensi Ii Di Kota Pasuruan. *Jurnal IPTEK*, 20(1), 43-54.
- Kusdarini, E., Purwaningsih, D. Y., Iqbal, M., & Novanda, C. (2017). Removal Pb (II) dari Air Sumur di Kota Pasuruan Menggunakan Proses Cation Exchanger. *In Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V*, D-39-D-44.

- Kusumadewi, R. A., Sani, I. K., & Winarni, W. (2019). The Use of Multi-criteria Analysis in Selecting Water Treatment Units in Sadu Water Treatment Plant, Bandung District, West Java Province, Indonesia. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 3(2), 65-78.
- McCabe, W., Smith, J.C., dan Harriot, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering Fifth Edition*. United States of America: McGraw Hill Book, Co.
- Meena, A. K., Mishra, G. K., Rai, P. K., Rajagopal, C., & Nagar, P. N. (2005). Removal of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions Using Carbon Aerogel as An Adsorbent. *Journal of hazardous materials*, 122(1-2), 161-170.
- Merganpour, A. M., Nekuonam, G., Alipour Tomaj, O., Kor, Y., Safari, H., Karimi, K., & Kheirabadi, V. (2015). Efficiency of Lead Removal from Drinking Water Using Cationic Resin Purolite. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 2(1), 41-45.
- Mines, R. O. 2014. *Environmental Engineering: Principles and Practice*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- Normaningsih, Y. (2018). Kandungan Mangan dalam Air Sungai Riam Kanan dan Hati Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L) di Kecamatan Karang Intan Kabupaten Banjar. *BIOSCIENTIAE*, 6(2).
- Oktaria, N., Hanifah, T. A., & Anita, S. (2014). Analisis kandungan logam merkuri, kadmium, timbal dan sianida pada aliran Sungai Indragiri, Kabupaten Indragiri Hulu. *Doctoral Dissertation*. Riau University.
- Palar H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Pang, F. M., Kumar, P., Teng, T. T., Omar, A. M., & Wasewar, K. L. (2011). Removal of Lead, Zinc and Iron by Coagulation-Flocculation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(5), 809-815.
- 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).
- Rosariawari, F., Wijayanto, E. M., & Farahdiba, A. U. (2019). Penyisihan Total Suspended Solid (TSS) Air Sungai Dengan Hidraulis Koagulasi Flokulasi. *ENVIROTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 11(2), 53-59.
- Said, N. I. (2005). Metode Penghilangan Zat Besi Dan Mangan Di Dalam Penyediaan Air Minum Domestik. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3).
- Sanak-Rydlowska, S., Bożęcka, A., & Orlof-Naturalna, M. (2016). Removal of Lead, Cadmium and Copper Ions from Aqueous Solutions by Using Ion Exchange Resin C 160. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 32(4).
- Sherugar, P., Naik, N. S., Padaki, M., Nayak, V., Gangadharan, A., Nadig, A. R., & Déon, S. (2021). Fabrication of Zinc Doped Aluminium Oxide/Polysulfone Mixed Matrix Membranes for Enhanced Antifouling Property and Heavy Metal Removal. *Chemosphere*, 275, 130024.
- Sunarti, S. (2018). Perbandingan Metode TOPSIS dan SAW untuk Pemilihan Rumah Tinggal. *JOINS (Journal of Information System)*, 3(1), 69-79.
- Supriyantini, E., Nuraini, R. A. T., & Fadmawati, A. P. (2017). Studi Kandungan Bahan Organik pada Beberapa Muara Sungai di Kawasan Ekosistem Mangrove, di Wilayah Pesisir Pantai Utara Kota Semarang, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 6(1), 29-38.
- Sutrisno, S., & Kuntastyuti, H. (2015). Pengelolaan Cemaran Kadmium pada Lahan Pertanian di Indonesia. *Buletin Palawija*, 13(1), 83-91.
- Suyono, O., Muslim, D., & Iskandarsyah, T. Y. W. (2018). Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Berdasarkan Aspek Geologi Lingkungan Menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW) di Kabupaten Kuningan. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 16(2), 79-80.
- Tanukusuma, Grace. 2017. *Produk Samping Klorinasi Pada Proses Desalinasi Air Laut*. Bandung: ITB.
- Tazkiaturrizki, i., dan Adriany, R. 2020. Multi-Criteria Analysis In Selecting Coagulation And Flocculation of Bojong Renged Water Treatment Plant, Tangerang. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(1), 2277-8616.
- Wingenfelder, U., Nowack, B., Furrer, G., & Schulin, R. (2005). Adsorption of Pb and Cd by Amine-modified Zeolite. *Water research*, 39(14), 3287-3297.
- Wu, C. D., Xu, X. J., Liang, J. L., Wang, Q., Dong, Q., & Liang, W. L. (2011). Enhanced Coagulation for Treating Slightly Polluted Algae-Containing Surface Water Combining Polyaluminum Chloride (PAC) with Diatomite. *Desalination*, 279 (1-3), 140-145.