



## Evaluasi Efektivitas Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Kota Surakarta

Rizky Nugraha Ramadhan<sup>1\*</sup>, Budi Utomo<sup>2</sup>, Solichin Solichin<sup>3</sup>, Cahyono Ikhsan<sup>4</sup>,

Koosdaryani Soeryodarundio<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia

**Abstract.** Household sewage treatment in Surakarta City depends on the performance of the available domestic wastewater treatment plants (IPAL), including Pucangsawit IPAL, Semanggi IPAL, Mojosongo IPAL, and UNS IPAL. Each of these IPAL's serves a specific area, such as the UNS IPAL which serves the UNS area and its surroundings, the Mojosongo IPAL which is in charge of the North Area of Surakarta, the Semanggi IPAL which takes care of the South Area of Surakarta, and the Pucangsawit IPAL which serves the Central Area of Surakarta City. This research aimed at the effectiveness of the performance and development plan of each IPAL in the next 20 years. This research used descriptive qualitative and quantitative analysis methods. Qualitative descriptive analysis was conducted by observing the existing condition of IPAL Komunal in the research location. Quantitative descriptive analysis in this study was carried out by testing samples at the inlet, aeration, and outlet points of the IPAL. Based on the quality standards of the Minister of Environment and Forestry Regulation number P 68 of 2016, each IPAL. UNS IPAL is 47.27% for BOD, 73.81% for COD, 76.36% for TSS. Mojosongo IPAL is 88.71% for BOD, 76.50% for COD, 78.57% for TSS. Pucangsawit IPAL was 91.88% for BOD, 83.20% for COD, 74.82% for TSS. Semanggi IPAL is 20.45% for BOD, 69.95% for COD, 69.05% for TSS. Alternative development at the IPAL that can be done to prepare for the next 20 years is to increase the volume in the initial settling basin, aerobic biofilter basin, and also the final settling basin.

**Keywords:** Anaerobic Baffled Reactor, Effluent, Inlet, Outlet, Waterwaste Treatment Plant.

**Abstrak.** Pengolahan limbah rumah tangga di Kota Surakarta bergantung pada performa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik yang tersedia, termasuk IPAL Pucangsawit, IPAL Semanggi, IPAL Mojosongo, dan IPAL UNS. Setiap IPAL ini melayani wilayah tertentu, seperti IPAL UNS yang melayani wilayah UNS dan sekitarnya, IPAL Mojosongo yang bertugas di Kawasan Utara Surakarta, IPAL Semanggi yang mengurus Kawasan Selatan Surakarta, dan IPAL Pucangsawit yang melayani Kawasan Tengah Kota Surakarta. Penelitian ini ditujukan untuk efektivitas kinerja dan rencana pengembangan masing-masing IPAL 20 tahun mendatang. Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Analisis secara deskriptif kualitatif dilakukan dengan melakukan observasi kondisi eksisting IPAL Komunal di lokasi penelitian. Analisis secara deskriptif kuantitatif dalam penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengujian sampel pada titik inlet, aerasi, dan outlet IPAL. Berdasarkan standar baku mutu dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor P 68 tahun 2016 masing-masing IPAL. IPAL UNS adalah sebesar 47,27% untuk BOD, 73,81% untuk COD, 76,36% untuk TSS. IPAL Mojosongo adalah sebesar 88,71% untuk BOD, 76,50% untuk COD, 78,57% untuk TSS. IPAL Pucangsawit adalah sebesar 91,88% untuk BOD, 83,20% untuk COD, 74,82% untuk TSS. IPAL Semanggi adalah sebesar 20,45% untuk BOD, 69,95% untuk COD, 69,05% untuk TSS. Alternatif pengembangan pada IPAL yang dapat dilakukan untuk mempersiapkan di 20 tahun mendatang adalah dengan menambah volume di bak pengendap awal, bak biofilter aerob, dan juga bak pengendap akhir.

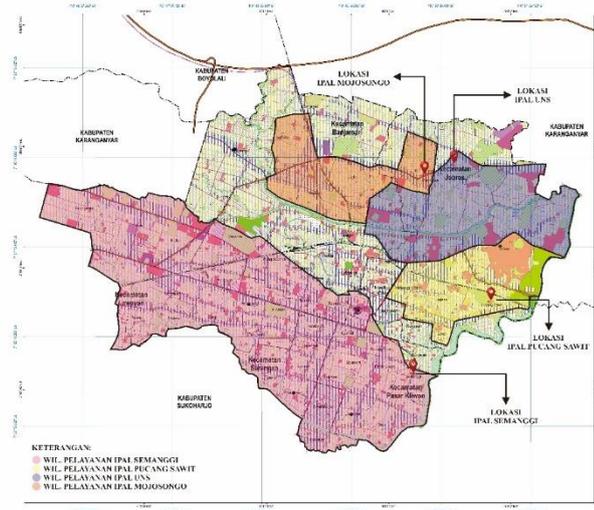
**Kata kunci:** Anaerobic Baffled Reactor, Effluent, Inlet, Instalasi Pengolahan Air Limbah, Outlet.

## 1. LATAR BELAKANG

Air merupakan kebutuhan pokok bagi manusia. Manusia memanfaatkan air untuk berbagai aktivitas dalam kehidupan sehari-hari. Aktivitas rumah tangga banyak memanfaatkan air, khususnya air bersih untuk masak, mandi, mencuci, dan lain sebagainya. Pemanfaatan dan pemakaian air tersebut menjadikan kualitas air menurun, sehingga menghasilkan air limbah. Air limbah yang dimaksud dapat berasal dari aktivitas industri maupun domestik yang dihasilkan dari berbagai kegiatan.

Pengolahan limbah rumah tangga di Kota Surakarta mengandalkan kinerja dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik yang tersedia, seperti IPAL Pucangsawit, IPAL Semanggi, IPAL Mojosongo, IPAL UNS, dan IPAL Putri Cempo. Akan tetapi, pada penelitian ini IPAL Putri Cempo tidak masuk ke dalam tinjauan karena hanya melakukan pengolahan tinja. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 4 Tahun 2017, sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik adalah serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan prasarana dan sarana pengelolaan air limbah domestik. Masing-masing dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) tersebut melayani wilayah yang berbeda-beda. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) UNS melayani wilayah UNS dan sekitarnya, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Mojosongo melayani Kawasan Utara Kota Surakarta, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Semanggi melayani Kawasan Selatan Kota Surakarta, dan IPAL Pucangsawit melayani Kawasan Tengah Kota Surakarta. Sedangkan, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Putri Cempo tidak masuk ke dalam tinjauan pembahasan pada tugas akhir ini dikarenakan IPAL Putri Cempo sudah tidak aktif lagi beroperasi di daerah Kota Surakarta.

Luas wilayah Kota Surakarta adalah 46,72 km<sup>2</sup> dengan jumlah penduduk 522.364 jiwa. Kota Surakarta terbagi atas 5 kecamatan dan 54 kelurahan. Kepadatan penduduk sebesar 11.861 jiwa/ km<sup>2</sup> dengan tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 0,44%. Dengan wilayah yang sangat luas, Kota Surakarta memerlukan pengolahan air limbah yang sangat efektif dan efisien. Pengolahan air limbah di Kota Surakarta mengandalkan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang tersebar di beberapa titik dengan daerah administrasi masing-masing yang berbeda. Pada Gambar 1. akan ditunjukkan peta luasan wilayah Kota Surakarta.



**Gambar 1.** Peta Wilayah Kota Surakarta, Hasil Analisis Penulis (2024)

Berdasarkan Gambar 1. Peta Wilayah Kota Surakarta terdapat beberapa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) antara lain, sebagai berikut. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) UNS adalah IPAL yang daerah pelayanannya mencakup Kawasan Jebres dan UNS. IPAL ini mempunyai kapasitas pengolahan debit sebesar  $162,03 \text{ m}^3$ . Pengolahan sistem IPAL UNS memakai dua sistem yang berbeda, baik *anaerobic* maupun *aerobic biofilter*. Cara kerja sistem tersebut dalam mengolah limbah yaitu dengan memanfaatkan bakteri untuk menguraikan polutan serta zat-zat organik dalam air limbah. Sistem pengolahan yang terdapat pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) UNS terdiri dari beberapa tahapan. Dimana, setiap tahapan yang ada pada sistem tersebut memiliki fungsinya masing-masing dalam mengolah air limbah agar sebagaimana mestinya. IPAL Mojosongo dibangun pada tahun 1999 yang berlokasi di Jalan Agung timur Mojosongo, Kecamatan Jebres dengan luas area  $121,82 \text{ m}^2$ . Daerah pelayanan IPAL Mojosongo mencakup wilayah bagian utara. IPAL ini mempunyai kapasitas  $10.000 \text{ SR}$  yang saat ini hanya tersisa  $5.744 \text{ SR}$  ( $57,48 \%$ ). Sistem pengolahan pada IPAL Mojosongo, yaitu Aerated Facultative Lagoon (Kolam Fakultatif). Dimana, sistem tersebut akan pengolahan limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme tersuspensi tanpa menggunakan sirkulasi lumpur. IPAL Pucangsawit berada di Pucangsawit Kecamatan Jebres dengan luas area  $42 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ . IPAL Pucangsawit dibangun pada tahun 2012 dan mulai beroperasi pada tahun 2013. IPAL Pucangsawit melayani wilayah bagian Tengah. IPAL ini mempunyai kapasitas  $6.000 \text{ SR}$  yang saat ini hanya tersisa  $692 \text{ SR}$  ( $11,52 \%$ ). Sistem pengolahan pada IPAL Pucangsawit menggunakan sistem yang dinamakan anaerobic baffled reactor. Sistem pada IPAL ini mengoperasikan seluruh bak pengolahan yang berada di bawah tanah. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Semanggi dibangun pada tahun 1999/2000.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Semanggi berlokasi di Kecamatan Pasar Kliwon dengan luas area 978,60 m<sup>2</sup>. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Semanggi melayani wilayah bagian Selatan Kota Surakarta. IPAL ini mempunyai kapasitas 13.000 SR yang saat ini hanya tersisa 9.989 SR (76,80 %). Sistem pengolahan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Semanggi menggunakan suatu sistem yang disebut dengan Activated Sludge, Bio Ball. Dimana, pada sistem tersebut akan memanfaatkan lumpur aktif dalam suatu proses pengolahan air limbah. Suplai oksigen pada sistem ini menggunakan peralatan mekanis, baik aerator maupun blower. Peralatan tersebut dibutuhkan untuk suplai oksigen pada suatu sistem pengolahan air limbah di IPAL Semanggi. Selain itu, alat mekanis berupa aerator maupun blower juga diperlukan untuk melakukan suatu proses pengadukan secara sempurna di dalam reactor. Sama seperti IPAL-IPAL yang lain, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Semanggi juga terdiri dari beberapa bagian unit yang berbeda satu dengan yang lain. Unit-unit yang ada pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Semanggi terdiri dari 4 (empat) bagian utama, antara lain grit chamber, bak ekualisasi, bak aerasi, dan bak sedimentasi.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) perlu dikelola dengan baik agar dapat beroperasi secara optimum, sehingga air limbah yang diolah dapat sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Air limbah perlu diolah dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas air limbah, mengurangi Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), serta partikel tercampur, menghilangkan bahan nutrisi serta komponen beracun, menghilangkan zat tersuspensi serta mikroorganisme patogen, dan mendekomposisi zat organik (Asmadi dkk., 2012). Secara umum, permasalahan pada IPAL dapat terjadi pada bagian teknis yang dapat menghambat kinerja IPAL secara keseluruhan. Permasalahan yang ada biasanya kontrol air limbah meluap, terjadi pengapungan di bak aerobik, dan air olahan yang keluar masih berbau.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **Pengertian Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik**

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 4 Tahun 2017, sistem IPAL domestik adalah serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan prasarana dan sarana pengelolaan air limbah domestik. Kepadatan penduduk dengan jumlah melebihi 150 jiwa/Ha dapat menerapkan sistem IPAL domestik terpusat, sedangkan untuk kepadatan penduduk kurang dari 150 jiwa/Ha masih terdapat pertimbangan lainnya, seperti sumber air yang ada, kedalaman air tanah, permeabilitas tanah, kemiringan tanah, ketersediaan lahan, serta kemampuan membiayai.

## Karakteristik Air Limbah

Umumnya ciri air limbah dapat dibedakan berdasarkan beberapa karakteristik parameter, yaitu fisik, kimia, dan biologi dengan contoh seperti pH, COD, BOD, TDS, TSS, oksigen terlarut (DO), dan lain sebagainya. Substansi minoritas lainnya, seperti logam, bahan beracun, deterjen, dan bakteri (Fitriyanti, 2020).

### 1. Sifat Fisik

#### a. Bau

Bau yang dihasilkan dari limbah domestik muncul karena adanya kegiatan penguraian zat organik oleh mikroorganisme tertentu yang menghasilkan bau. Pembusukan merupakan salah satu penyebab timbulnya bau pada air limbah domestik. Pembusukan ini terjadi karena zat organik yang terurai kurang sempurna di dalam air limbah domestik (Sholichin, 2015).

#### b. Warna

Warna adalah salah satu atribut yang sebenarnya dari air limbah. Pada dasarnya, air yang sempurna tidak memiliki warna, namun seiring berjalannya waktu dan kondisi konsumsi oksigen meningkat, warna air limbah berubah dari warna gelap menjadi kehitaman (Sholichin, 2015). Warna berkaitan dengan kekeruhan dari air dan berpotensi menimbulkan kesan yang kurang sedap jika dipandang, meskipun warna dari air limbah tidaklah menimbulkan racun ataupun efek yang dapat mencemari lingkungan sekitar.

#### c. Suhu

Suhu adalah salah satu faktor yang dapat memengaruhi lingkungan sekitar. Dengan suhu limbah yang tinggi, maka akan semakin besar potensi mengganggu pertumbuhan biota tertentu. Dalam pengolahan air limbah, salah satu peran utama suhu, yaitu dapat menentukan banyaknya spesies mikroorganisme yang muncul beserta aktivitasnya. Pada suhu tinggi aktivitas bakteri akan lebih meningkat dan aktif, sedangkan pada suhu rendah biasanya bakteri akan cenderung mengalami perlambatan pertumbuhan dan proses reproduksi (Asmadi & Suharno, 2012).

#### d. Padatan

Dalam limbah dapat ditemukan zat padat yang dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu padatan terlarut dan padatan tersuspensi. Padatan dapat dibedakan berdasarkan diameternya. Partikel tersuspensi terdiri dari partikel koloid dan partikel biasa. Di samping dari kedua jenis padatan ini ada pula padatan terendap yang memiliki diameter lebih besar dan jika dalam keadaan yang tenang, maka padatan ini akan mengendap di dasar karena adanya gaya gravitasi.

e. Kekeruhan

Kekeruhan merupakan sifat optis larutan yang ditunjukkan oleh limbah cair karena adanya padatan yang tersuspensi, seperti lumpur, koloid, dan zat organik di dalamnya yang memberikan sumbangsih terhadap kekeruhan limbah. Air limbah yang keruh mengakibatkan kurangnya nilai estetika di dalamnya (Asmadi & Suharno, 2012).

## 2. Sifat Kimia

a. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD merupakan jumlah kandungan zat alami yang sejenis pada air limbah yang bisa terdegradasi dengan metode biologi menggunakan konsumsi oksigen. Pengidentifikasi BOD dapat dilakukan dengan cara oksidasi selama 5 hari bahan organik yang dapat terurai pada 20°C oleh mikroorganisme (Fatmawati Nur, 2013). Kadar BOD yang tinggi di dalam air dapat menyebabkan penipisan oksigen terkonsumsi, sehingga dapat membuat biota lainnya yang membutuhkan oksigen menjadi kekurangan dan akibatnya biota yang memerlukan oksigen ini akan mati.

b. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengukuran kadar kebutuhan oksigen dalam air dapat dilakukan dengan metode COD. Metode ini lebih singkat waktunya daripada analisis BOD. Pengukuran ini menekankan kebutuhan oksigen akan kimia, dimana senyawa yang diukur adalah bahan yang tidak pecah secara biokimia. Pengukuran BOD menjadi tidaklah realistis apabila ada racun ataupun logam tertentu dalam limbah yang akan menghambat pertumbuhan bakteri. Hal tersebut dapat teratasi dengan menggunakan analisis COD. COD adalah kadar oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat anorganik dan organik, seperti pada BOD. Semakin dekat nilai BOD terhadap COD, maka semakin sedikit bahan anorganik yang dapat dioksidasi dengan bahan kimia.

c. Keasaman Air (pH)

Pengukuran keasaman air dapat dilakukan dengan pH meter. Keasaman dapat ditetapkan berdasarkan seberapa banyaknya kandungan ion hidrogen dalam air. Apabila air limbah memiliki pH yang rendah ataupun tinggi, maka air tersebut bisa dikatakan steril yang mengakibatkan terbunuhnya mikroorganisme yang ada. Air limbah yang memiliki pH rendah akan bersifat asam, sehingga dapat menyebabkan korosif terhadap bahan konstruksi besi. Biasanya air limbah rumah tangga memiliki  $\text{pH} < 7$  atau bersifat asam. Adapun kadar pH yang baik untuk air limbah ataupun air minum, yaitu netral. Kandungan pH air yang netral akan baik digunakan pada segala bentuk kegiatan domestik rumah tangga dan industri

d. *Dissolved Oxygen* (DO)

DO adalah keadaan oksigen terlarut yang memiliki keadaan yang berbeda dengan BOD. Jika BOD dalam limbah cair semakin tinggi kadarnya, maka kandungan oksigen yang ada dalam air semakin rendah. Kandungan oksigen yang tinggi menunjukkan bahwa semakin baik kualitas airnya. Pada keadaan alami kandungan oksigen dalam air alami bisa mencapai 8 mg/lit. Salah satu cara meningkatkan kadar oksigen dalam air, yaitu dengan menggunakan alat aerator. Selain aerator, ada pula sumber oksigen alami dari proses fotosintesis lumut dan ganggang melalui bantuan sinar matahari.

### 3. Sifat Biologi

Air limbah domestik mengandung berbagai mikroorganisme, tetapi yang menjadi perhatian adalah yang diklasifikasikan sebagai protista, tumbuhan, dan hewan. Kategori protista termasuk bakteri, jamur, alga, dan protozoa. Tumbuhan yang termasuk paku-pakuan, lumut, tumbuhan berbiji dan lumut hati. Invertebrata dan vertebrata termasuk dalam kategori hewan (Sholichin, 2015). Dalam hal pengolahan air limbah, kategori yang paling penting adalah protista, terutama bakteri, alga, dan protozoa. Selain itu, air limbah mengandung banyak organisme patogen yang umumnya berasal dari manusia yang terinfeksi penyakit atau pembawa penyakit tertentu. Biasanya, konsentrasi *coliform fecal* yang ditemukan dalam air limbah mentah adalah sekitar beberapa ratus ribu hingga puluhan juta per 100 ml sampel (Asmadi & Suharno, 2012).

### Dampak Air Limbah

Air limbah dapat menimbulkan akibat-akibat yang merugikan bagi makhluk hidup, terutama manusia. Adapun dampak yang dapat ditimbulkan oleh air limbah antara lain, sebagai berikut:

1. Dampak terhadap manusia kuman penyebab penyakit pada makhluk hidup, seperti bakteri, virus, parasit, protozoa yang mencemari air merupakan penyebab utama terjadinya infeksi penyakit. Penyakit yang ditimbulkan, antara lain *poliomyelitis*, *typhus*, *leptospirosis*, kolera, disentri, dan cacingan.
2. Dampak terhadap lingkungan pencemaran limbah organik pada perairan menyebabkan kurangnya oksigen terlarut, sehingga hanya beberapa spesies binatang dan tumbuhan tertentu yang dapat hidup. Jika air limbah dibuang ke tanah, maka akan mempengaruhi kualitas tanah tersebut.

## **Tujuan Pengolahan Air Limbah**

Pengolahan air limbah bertujuan untuk memperbaiki kualitas air limbah, mengurangi BOD, COD, dan partikel tercampur, menghilangkan bahan nutrisi dan komponen beracun, menghilangkan zat tersuspensi dan mikroorganisme patogen, serta mendekomposisi zat organik. Limbah perlu diolah bila ternyata mengandung senyawa pencemaran yang berpotensi untuk menciptakan kerusakan terhadap lingkungan. Suatu perkiraan dalam mengolah limbah harus dibuat terlebih dahulu dengan jalan mengidentifikasi sumber pencemarannya, kegunaan jenis bahannya, sistem pengolahan yang sesuai dan banyaknya. Limbah dengan jumlah yang besar/kecil dan dalam jangka panjang/pendek akan membuat perubahan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengolahan limbah sebelum dibuang ke alam sangat diperlukan agar tidak mengganggu struktur lingkungan.

## **3. METODE PENELITIAN**

### **Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian deskriptif yang dilakukan terhadap beberapa objek yang bertujuan untuk melihat gambaran fenomena yang terjadi (Notoatmodjo, 2012). Dilihat dari pengumpulan data, penelitian ini merupakan jenis penelitian observasional. Penelitian ini menggunakan metode yang meliputi antara lain melihat, mengamati secara visual, mencatat rangkaian kegiatan atau situasi tertentu terkait dengan masalah yang diteliti (Notoatmodjo, 2012). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan setiap sistem pengolahan limbah yang diterapkan pada masing-masing IPAL di Kota Surakarta berdasarkan parameter BOD, COD, TSS serta biaya operasional/pemeliharaan. Pada penelitian ini juga dilakukan suatu hal yang berkaitan dengan pengamatan secara langsung pada masing-masing Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang ditinjau. Masing-masing Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang ditinjau pada penelitian ini antara lain, IPAL Mojosongo, IPAL Pucangsawit, IPAL Semanggi, dan IPAL UNS. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan suatu metode pengamatan tidak langsung yang diperoleh dari data sekunder, baik bersumber dari internet, jurnal, maupun studi pustaka lainnya yang berkaitan satu sama lain dengan penelitian yang sedang dikerjakan.

Tempat penelitian ini dilakukan pada masing-masing IPAL di Kota Surakarta yang diantaranya IPAL Mojosongo, IPAL Semanggi, IPAL Pucangsawit, dan IPAL UNS. Pengujian sampel air di Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Surakarta dengan parameter BOD, COD, dan TSS.

#### 4. HASIL PENELITIAN

##### Kondisi Eksisting Kualitatif IPAL

Kondisi eksisting kuantitatif setiap IPAL dievaluasi berdasarkan kapasitas (debit) air limbah eksisting yang mengalir menuju IPAL yang berasal dari pelanggan di wilayah pelayanan masing-masing IPAL. Dalam penentuan jumlah debit air limbah yang dihasilkan, perlu dihitung jumlah kebutuhan air rumah tangga. Kebutuhan air rumah tangga dihitung menurut petunjuk teknis perencanaan rancangan teknik sistem penyediaan air minum. Berdasarkan jumlah penduduk, Kota Surakarta tergolong dalam kota besar, sehingga berdasarkan Tabel 2.2 didapat konsumsi unit SR adalah 170 liter/orang/hari dan jumlah jiwa per SR adalah 5 orang, serta untuk jumlah pelanggan menggunakan data jumlah pelanggan pada tahun 2020. Untuk menghitung kebutuhan air rumah tangga dan debit air limbah dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut.

$$K_{art} = P \times S \times Q$$

$$Q_{al} = 80\% \times K_{art}$$

Dengan:

P = Jumlah Pelanggan (SR)

S = Jumlah jiwa per SR (Orang)

Q = Konsumsi Unit Sambungan Rumah (Liter/orang/hari)

Contoh perhitungan pada IPAL Pucangsawit sebagai berikut.

$$P = 607 \text{ SR}$$

$$S = 170 \text{ Orang}$$

$$Q = 5 \text{ liter/orang/hari}$$

$$K_{art} = P \times S \times Q$$

$$K_{art} = 607 \times 170 \times 5$$

$$= 515950 \text{ liter/hari}$$

$$= 5,97 \text{ liter/detik}$$

$$Q_{al} = 80\% \times K_{art}$$

$$= 80\% \times 5,97$$

$$= 4,78 \text{ liter/detik}$$

Hasil rekapitulasi masing-masing IPAL dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Rekapitulasi Masing-Masing IPAL, Hasil Analisis Penulis (2024)**

| No | IPAL        | P    | S       | Q                | K art         | Qal           |
|----|-------------|------|---------|------------------|---------------|---------------|
|    |             | (SR) | (orang) | (liter/orang/hr) | (liter/detik) | (liter/detik) |
| 1  | UNS         | 89   | 170     | 5                | 0,88          | 0,70          |
| 2  | Mojosongo   | 95   | 170     | 5                | 0,93          | 0,75          |
| 3  | Pucangsawit | 607  | 170     | 5                | 5,97          | 4,78          |
| 4  | Semanggi    | 660  | 170     | 5                | 6,49          | 5,19          |

### Kondisi Eksisting Kuantitatif IPAL

Kondisi eksisting kuantitatif masing-masing IPAL dievaluasi berdasarkan pada efisiensi pengolahan dari hasil uji kualitas air limbah IPAL yang dilakukan di laboratorium PDAM Kota Surakarta. Penelitian ini menguji kualitas air limbah di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Surakarta dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi pengolahan air limbah. Sampel yang diambil berasal dari bagian *inlet*, bak aerasi, dan bagian *outlet* dengan tiap sampel kurang lebih 1 jirigen (2 liter). Hasil uji kualitas air limbah IPAL UNS, IPAL Mojosongo, IPAL Pucangsawit, dan IPAL Semanggi disajikan pada Tabel 2 hingga Tabel 5. Kemudian Hasil ujinya dibandingkan dengan baku mutu berdasarkan Peraturan Kementrian Lingkungan Hidup dan Baku Mutu Air Sungai pada Tabel 4.10.

**Tabel 2. Baku Mutu Kualitas Air, Hasil Analisis Penulis (2024)**

| No. | Parameter | Satuan | Baku Mutu 1<br>(Kementrian) | Baku Mutu 2<br>(Air Sungai) |
|-----|-----------|--------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1.  | pH        |        | 6-9                         | 6-9                         |
| 2.  | BOD       | mg/L   | Max. 30                     | Max. 2                      |
| 3.  | COD       | mg/L   | Max. 100                    | Max. 10                     |
| 4.  | TSS       | mg/L   | Max. 30                     | Max. 50                     |

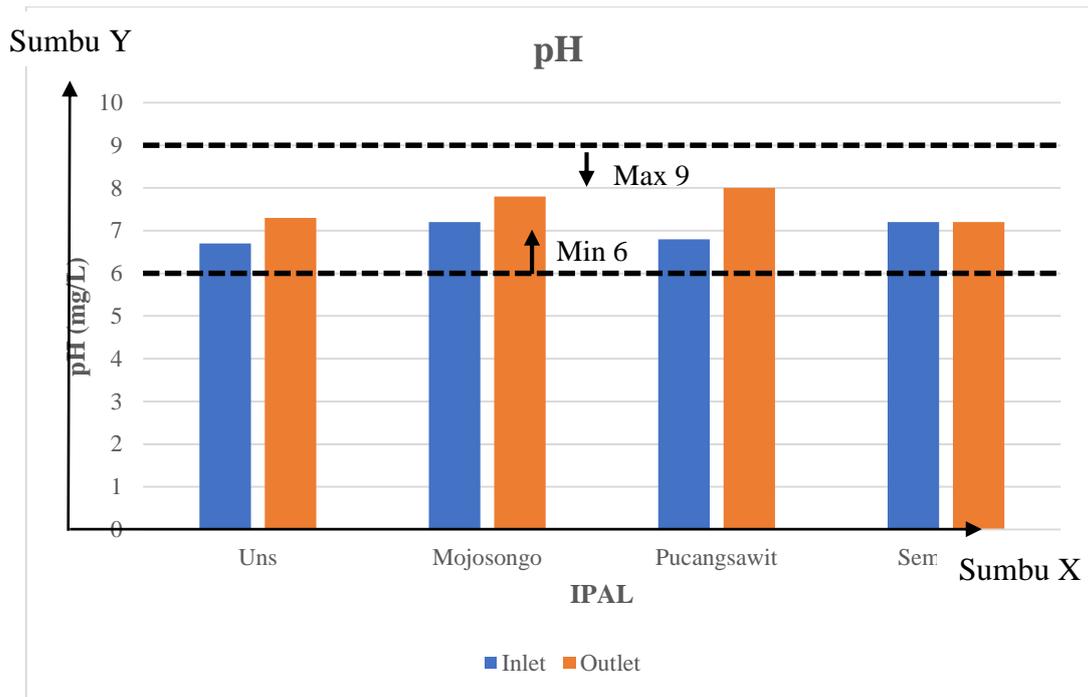
Keterangan:

- Baku mutu 1 berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P 68 Tahun 2016
- Baku mutu 2 berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air

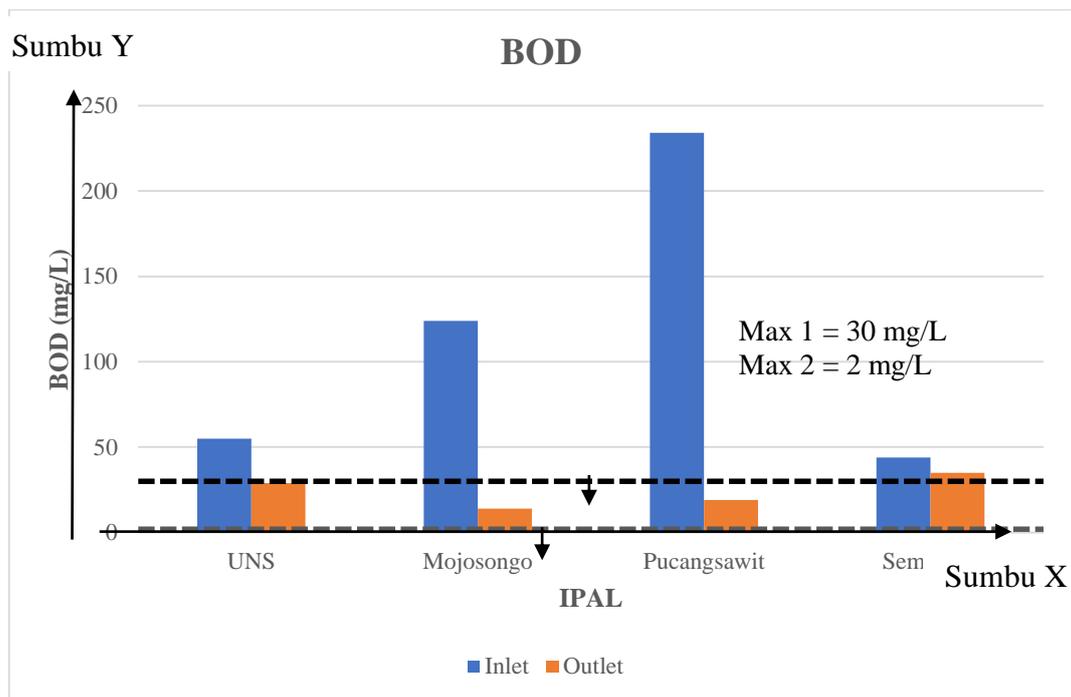
Untuk mempermudah pembacaan tabel, Baku mutu disingkat menjadi BM.

**Tabel 3. Hasil Uji Kualitas Air Limbah IPAL, Hasil Analisis Penulis (2024)**

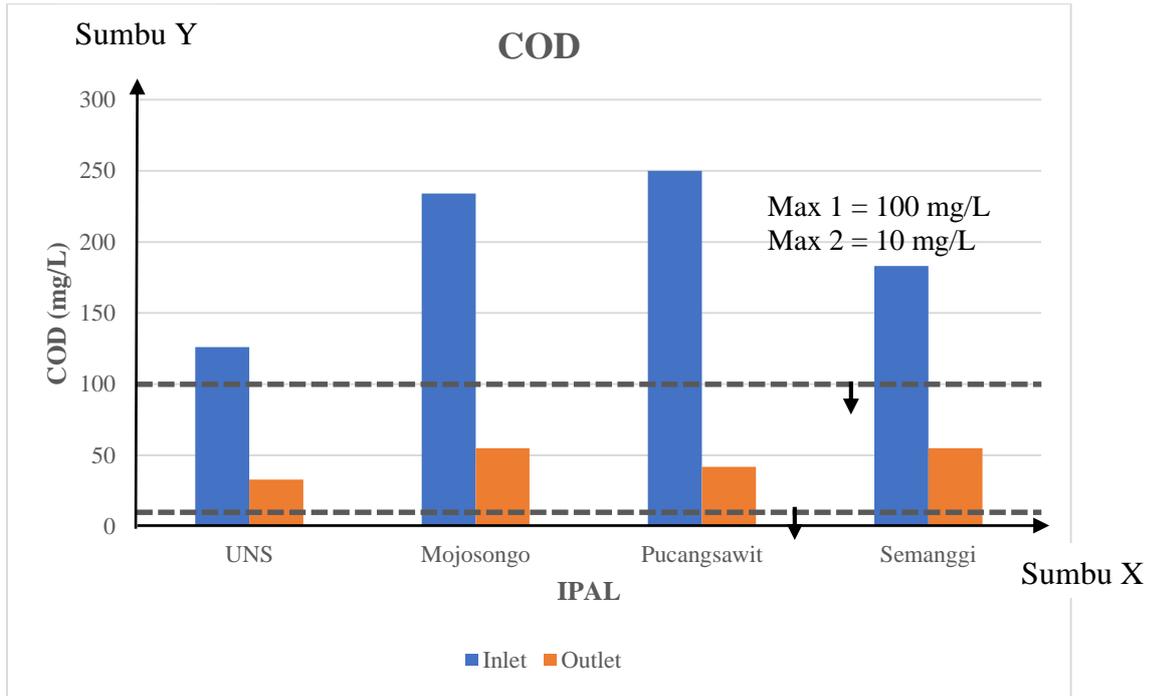
| No.         | Parameter | Satuan | Hasil Uji    |        |               |        |        |
|-------------|-----------|--------|--------------|--------|---------------|--------|--------|
|             |           |        | <i>Inlet</i> | Cek 1  | <i>Outlet</i> | Cek 1  | Cek 2  |
| UNS         |           |        |              |        |               |        |        |
| 1.          | pH        |        | 6,7          | OK     | 7,3           | OK     | OK     |
| 2.          | BOD       | mg/L   | 55           | NOT OK | 29            | OK     | NOT OK |
| 3.          | COD       | mg/L   | 126          | NOT OK | 33            | OK     | NOT OK |
| 4.          | TSS       | mg/L   | 55           | NOT OK | 13            | OK     | OK     |
| Mojosongo   |           |        |              |        |               |        |        |
| 1.          | pH        |        | 7,2          | OK     | 7,8           | OK     | OK     |
| 2.          | BOD       | mg/L   | 124          | NOT OK | 14            | OK     | NOT OK |
| 3.          | COD       | mg/L   | 234          | NOT OK | 55            | OK     | NOT OK |
| 4.          | TSS       | mg/L   | 56           | NOT OK | 12            | OK     | OK     |
| Pucangsawit |           |        |              |        |               |        |        |
| 1.          | pH        |        | 6,8          | OK     | 8             | OK     | OK     |
| 2.          | BOD       | mg/L   | 234          | NOT OK | 19            | OK     | NOT OK |
| 3.          | COD       | mg/L   | 250          | NOT OK | 42            | OK     | NOT OK |
| 4.          | TSS       | mg/L   | 282          | NOT OK | 71            | NOT OK | NOT OK |
| Semanggi    |           |        |              |        |               |        |        |
| 1.          | pH        |        | 7,2          | OK     | 7,2           | OK     | OK     |
| 2.          | BOD       | mg/L   | 44           | NOT OK | 35            | NOT OK | NOT OK |
| 3.          | COD       | mg/L   | 183          | NOT OK | 55            | OK     | NOT OK |
| 4.          | TSS       | mg/L   | 42           | NOT OK | 13            | OK     | OK     |



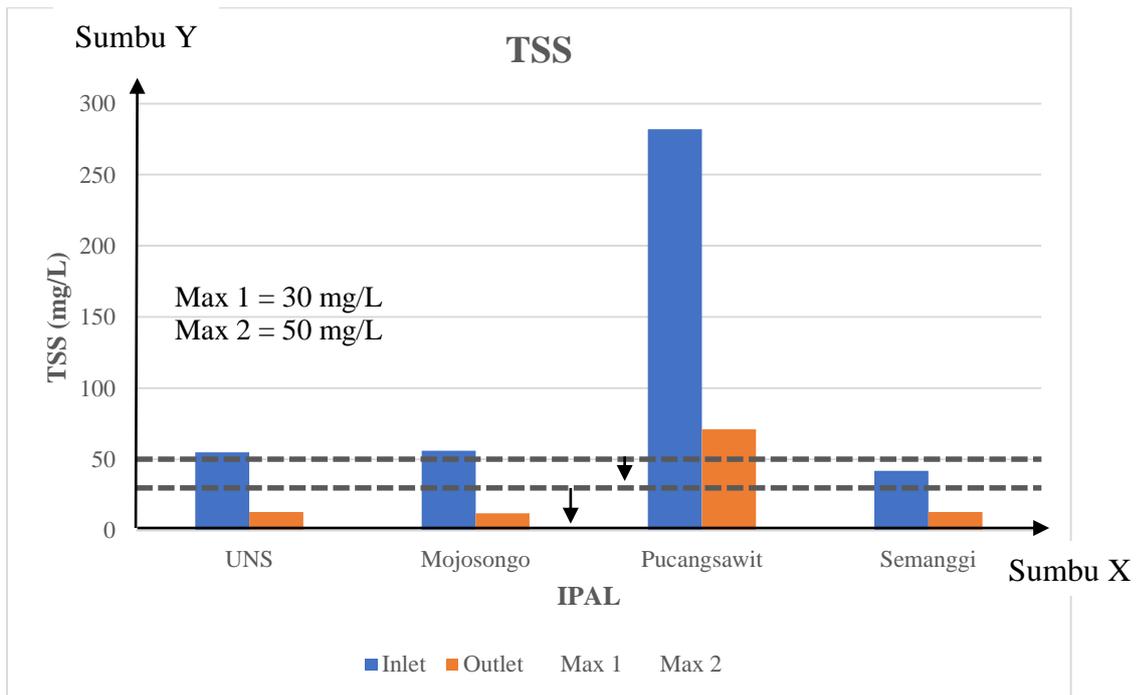
Gambar 2. Grafik Hasil Uji pH pada Setiap IPAL, Hasil Analisis Penulis (2024)



Gambar 3. Grafik Hasil Uji BOD pada Setiap IPAL, Hasil Analisis Penulis (2024)



**Gambar 4. Grafik Hasil Uji COD pada Setiap IPAL, Hasil Analisis Penulis (2024)**



**Gambar 5. Grafik Hasil Uji TSS pada Setiap IPAL, Hasil Analisis Penulis (2024)**

Berdasarkan Tabel 3, menurut pengecekan baku mutu terhadap Peraturan Menteri No. P68 Tahun 2016 dan Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001, diketahui bahwa:

1. Mengacu pada grafik Gambar 5 pH di tiap titik pengambilan masing-masing IPAL memenuhi semua baku mutu.

2. Dilihat pada grafik Gambar 6 BOD pada setiap IPAL tidak memenuhi baku mutu 1 dan 2, kecuali pada *outlet* IPAL UNS, Mojosongo, dan Pucangsawit.
3. Mengacu pada grafik Gambar 7 COD di titik *inlet* pada setiap IPAL tidak memenuhi baku mutu 1 dan 2, sedangkan di titik *outlet* setiap IPAL memenuhi baku mutu 1. Akan tetapi, COD pada *outlet* tidak memenuhi baku mutu 2.
4. Mengacu pada grafik Gambar 5 TSS di titik *inlet* pada setiap IPAL tidak memenuhi baku mutu 1 dan 2, di titik *outlet* pada IPAL UNS, IPAL Mojosongo, dan IPAL Semanggi memenuhi baku mutu 1 dan 2, sedangkan IPAL Pucangsawit tidak memenuhi baku mutu 1 dan 2.

Contoh nilai efisiensi pengolahan IPAL Pucang Sawit dari hasil uji kualitas air limbah yang diambil dari titik *inlet* dan *outlet* dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini, sebagai berikut:

$$E = \frac{C_o - C}{C_o}$$

Dengan:

$$C_o = \text{inlet (mg/L)}$$

$$C = \text{outlet (mg/L)}$$

#### 1. Efisiensi BOD

Konsentrasi BOD pada *inlet* ( $C_o$ ) = 234 mg/L

Konsentrasi BOD pada *outlet* ( $C$ ) = 19 mg/L

Maka, efisiensi BOD pada reaktor utama IPAL Pucangsawit adalah:

$$E = \frac{C_o - C}{C_o}$$

$$E = \frac{234 - 19}{234}$$

$$= 91,88\%$$

Rekapitulasi nilai efisiensi pengolahan setiap IPAL dari hasil uji kualitas air limbah yang diambil dari titik *inlet* dan *outlet* dapat dilihat pada Tabel 4 hingga Tabel 7

**Tabel 4. Efisiensi Kualitas Air Limbah IPAL UNS Berdasarkan *Inlet* dengan *Outlet*, Hasil Analisis Penulis (2024)**

| No | Parameter | Satuan | Hasil Uji    |               | Efisiensi |
|----|-----------|--------|--------------|---------------|-----------|
|    |           |        | <i>Inlet</i> | <i>Outlet</i> |           |
| 1  | pH        |        | 6,7          | 7,3           |           |
| 2  | BOD       | mg/L   | 55           | 29            | 47,27%    |
| 3  | COD       | mg/L   | 126          | 33            | 73,81%    |
| 4  | TSS       | mg/L   | 55           | 13            | 76,36%    |

**Tabel 5. Efisiensi Kualitas Air Limbah IPAL Mojosoongo Berdasarkan *Inlet* dengan *Outlet*, Hasil Analisis Penulis (2024)**

| No | Parameter | Satuan | Hasil Uji    |               | Efisiensi |
|----|-----------|--------|--------------|---------------|-----------|
|    |           |        | <i>Inlet</i> | <i>Outlet</i> |           |
| 1  | pH        |        | 7,2          | 7,8           |           |
| 2  | BOD       | mg/L   | 124          | 14            | 88,71%    |
| 3  | COD       | mg/L   | 234          | 55            | 76,50%    |
| 4  | TSS       | mg/L   | 56           | 12            | 78,57%    |

**Tabel 6. Efisiensi kualitas air limbah IPAL Pucangsawit Berdasarkan *Inlet* dengan *Outlet*, Hasil Analisis Penulis (2024)**

| No | Parameter | Satuan | Hasil Uji    |               | Efisiensi |
|----|-----------|--------|--------------|---------------|-----------|
|    |           |        | <i>Inlet</i> | <i>Outlet</i> |           |
| 1  | pH        |        | 6,8          | 8             |           |
| 2  | BOD       | mg/L   | 234          | 19            | 91,88%    |
| 3  | COD       | mg/L   | 250          | 42            | 83,20%    |
| 4  | TSS       | mg/L   | 282          | 71            | 74,82%    |

**Tabel 7. Efisiensi kualitas air limbah IPAL Semanggi Berdasarkan *Inlet* dengan *Outlet***

| No | Parameter | Satuan | Hasil Uji    |               | Efisiensi |
|----|-----------|--------|--------------|---------------|-----------|
|    |           |        | <i>Inlet</i> | <i>Outlet</i> |           |
| 1  | pH        |        | 7,2          | 7,2           |           |
| 2  | BOD       | mg/L   | 44           | 35            | 20,45%    |
| 3  | COD       | mg/L   | 183          | 55            | 69,95%    |
| 4  | TSS       | mg/L   | 42           | 13            | 69,05%    |

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai efisiensi pengolahan dari hasil uji kualitas air limbah pada masing-masing IPAL antara lain, sebagai berikut.
  - a. IPAL UNS: 47,27% BOD  
73,81% COD  
76,36% TSS
  - b. IPAL Mojosongo: 88,71% BOD  
76,50% COD  
78,57% TSS
  - c. IPAL Pucangsawit: 91,88% BOD  
83,20% COD  
74,82% TSS
  - d. IPAL Semanggi: 20,45% BOD  
69,95% COD  
69,05% TSS

Berdasarkan hasil uji lab dari keempat IPAL dan mengacu kepada baku mutu air limbah yang paling mendekati adalah IPAL Pucangsawit dan IPAL Mojosongo.

2. Berdasarkan biaya operasional dan pemeliharaan per bulan masing-masing IPAL antara lain, sebagai berikut.
  - a. IPAL UNS biaya total per bulan yang digunakan yaitu sebesar Rp 50.065.000,.
  - b. IPAL Mojosongo biaya total per bulan yang digunakan yaitu sebesar Rp 50.000.000,.
  - c. IPAL Pucangsawit biaya total per bulan yang digunakan yaitu sebesar Rp 8.674.500,.
  - d. IPAL Semanggi Biaya operasional dan perawatan IPAL Semanggi sebesar Rp 78.000.000,.

Dari keempat IPAL tersebut biaya operasional terendah merupakan IPAL Pucangsawit, sedangkan biaya dengan operasional tertinggi merupakan IPAL Semanggi. Hal tersebut dikarenakan fasilitas penunjang IPAL Semanggi cukup banyak dengan cakupan

pelayanannya sangat luas. Sedangkan, fasilitas penunjang IPAL Pucangsawit sedikit dengan cakupan wilayah yang tidak cukup luas.

3. Hasil penelitian evaluasi kinerja pengolahan IPAL di Kota Surakarta dengan berbagai indikator penelitian dapat disimpulkan bahwa IPAL Pucangsawit menjadi IPAL yang sangat efektif dalam sistem pengolahan IPAL dan IPAL Semanggi menjadi IPAL yang tidak efektif dalam sistem pengolahan IPAL.

### **Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah disusun, maka dapat diberikan saran, salah satunya kepada pihak instansi terkait yang bertanggung jawab dalam pengolahan air limbah, sebagai berikut:

1. Ruang lingkup penelitian selanjutnya dapat diperluas dengan meninjau perpipaian dari domestik menuju IPAL. Alternatif pengembangan yang dapat diterapkan di masing masing IPAL. IPAL UNS adalah dengan penambahan volume di bak pengendap awal sebesar 864000 L; di bak *biofilter anaerob* 1728000 L; di bak *biofilter aerob* sebesar 1296000 L; dan di bak pengendap akhir sebesar 561600 L. IPAL Mojosongo adalah dengan penambahan volume di bak pengendap awal sebesar 864000 L; di bak *biofilter anaerob* 2690100 L; di bak *biofilter aerob* sebesar 1260000 L; dan di bak pengendap akhir sebesar 750000 L. IPAL Pucangsawit adalah dengan penambahan volume di bak pengendap awal sebesar 864000 L; di bak *biofilter anaerob* 1728000 L; di bak *biofilter aerob* sebesar 1296000L; dan di bak pengendap akhir sebesar 561600 L. IPAL Semanggi adalah dengan penambahan volume di bak pengendap awal sebesar 1152000 L; di bak *biofilter anaerob* 2448000 L; di bak *biofilter aerob* sebesar 2280000 L; dan di bak pengendap akhir sebesar 777600 L.
2. Perlu dilakukan penambahan fasilitas penunjang serta pemeliharaan rutin teratur untuk meningkatkan kualitas IPAL.
3. Alternatif pengembangan fasilitas masing-masing IPAL dapat ditambah dengan pembuatan *Sludge Drying Bed* untuk membantu dalam proses sedimentasi IPAL.

## **DAFTAR REFERENSI**

- Asmadi, S., Suharno, S. K. M., & Kes, M. (2012). Dasar-dasar teknologi pengolahan air limbah. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Ayu. (2017). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Kawasan di Universitas Sebelas Maret Surakarta [Skripsi]. Universitas Sebelas Maret.
- Badan Standarisasi Nasional [BSN]. (2017). SNI 8455:2017. Perencanaan Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga dengan Sistem Reaktor Anaerobik Bersekat.
- Benefield, L. D., & Randall, C. W. (1980). Biological Process Design For Wastewater Treatment. Prentice Hall Inc.
- Conradin, K., Kropac, M., & Spuhler, D. (Eds.). (2010). The SSWM Toolbox. Seecon International GmbH.
- Hanifah, O. (2024). Pengawasan terhadap Pengelolaan Limbah Cair di PT Semen Padang (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- Keputusan Direktur Jenderal Cipta Karya. (2001). Nomor 543/KPTS/CK/2001 tentang Pedoman Standar Pelayanan Minimal Bidang Penataan Ruang, Perumahan dan Permukiman dan Pekerjaan Umum.
- Kota Surakarta. (1999). Peraturan Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Nomor 3 Tahun 1999.
- Kristanto, P. (2004). Ekologi Industri (Edisi ke-3). Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Mahdi, F. K., Abu-Alhail, S., & Dawood, A. S. (2022). Performance of the anaerobic baffled reactor for primary treatment of rural domestic wastewater in Iraq. *Open Engineering*, 12(1), 859-865.
- Metcalf & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse* (2nd ed.). McGraw-Hill Inc.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment, and Reuse*. McGraw-Hill Co.
- Ngo, H. H., Guo, W., Vo, T. T., Nghiem, L. D., & Hai, F. I. (2017). Aerobic treatment of effluents from the aquaculture industry. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 35-77). Elsevier.
- Oktabrina. (2011). Analisis Kuantitas dan Kualitas Pengolahan Limbah Cair Ipal Mojosongo Surakarta [Skripsi]. Universitas Sebelas Maret.
- Philip, R. (2011). SWITCH Training kit Integrated Urban Water Management in the City of the Future, Module 5 Wastewater-Exploring the options. ICLE European Secretariat GmbH.
- Rendrahadi, W. D. (2021). Analisa Kualitas Air Tanah Berdasarkan Kandungan Bakteri Escherichia Coli (E. Coli) pada Musim Kemarau di Kawasan Gumuk Pasir, Bantul, Yogyakarta.

- Republik Indonesia. (2001). Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Pasal 1 Ayat 2 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Republik Indonesia. (2017). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 4 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.
- Rochman. (2015). Desain Layout Pengolah Limbah Cair dengan Metode Wastewater Treatment (WWTP) di PT. Pelangi Indokarya [Diploma thesis]. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Said, Nusa Idaman. (1999). Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob. Seminar Teknologi Pengolahan Air Limbah II: Prosiding, Jakarta, 16-17 Februari 1999.
- SIBIMA Konstruksi. Perencanaan Pengelolaan Air Limbah dengan Sistem Terpusat.
- Siregar, A. (2005). Instalasi Pengolahan Air Limbah. Yogyakarta: Kanisius.
- Soeparman, H. M., & Suparmin. (2001). Pembuangan Tinja & Limbah Cair: Suatu Pengantar. Penerbit Buku: Kedokteran EGC.
- Solecha. (2011). Evaluasi Pengolahan Air Limbah di IPAL Semanggi Surakarta [Skripsi]. Universitas Sebelas Maret.
- Stoner, J. A. F. (2010). Principles of Management. New Delhi: Phi Beta Kappa.
- Sugiharto. (1987). Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah. Jakarta: UI Press.
- Sugiharto. (2014). Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah. Jakarta: UI Press.
- Yi, M., Wang, C., Wang, M., Ma, X., Wang, H., Liu, Z., ... & Lu, M. (2023). Immobilized denitrifying bacteria on modified oyster shell as biofilter carriers enhance nitrogen removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(1), 109214.