

# Analisis terhadap Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Industri Gudeg Kaleng di PT XYZ Yogyakarta

*Performance Analysis of Wastewater Treatment Unit (WWTU) at The Gudeg Canning Industry in PT XYZ, Yogyakarta*

**Ima Apriliyani, Makhmudun Ainuri, Atris Suyantohadi\***

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

\*Corresponding Author: Atris Suyantohadi, Email: atris@ugm.ac.id

Submisi: 8 Desember 2021; Revisi: 8 Februari 2022, 31 Maret 2022; Diterima: 1 April 2022;

Dipublikasi: 28 Februari 2023

## ABSTRAK

Industri PT XYZ, Yogyakarta memproduksi produk gudeg kaleng untuk dipasarkan baik didalam negeri dan keluar negeri. Penelitian bertujuan untuk melakukan analisis kinerja pada unit IPAL PT XYZ terhadap parameter pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD<sub>5</sub>) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta usulan perbaikan kinerja IPALnya agar dapat beroperasi menghasilkan efluen yang sesuai berdasarkan persyaratan baku mutu pemerintah. Metoda penelitian dilakukan menggunakan analisis dimensi berdasarkan data-data perhitungan secara kuantitatif dan deskriptif. Dari analisa kinerja IPAL didapatkan faktor penyebab ketidaksiannya yaitu: 1) kesesuaian ukuran saringan yaitu 3 cm x 100 cm; 2) kondisi *scum* yang kotor tidak dibersihkan; 3) Beban BOD dan COD limbah melebihi melebihi kapasitas 4) tidak sesuai penggunaan bakteri dengan jenis pengolahan dan 5) proses netralisasi yang tidak ada. Usulan perbaikan dari analisa kinerja IPAL meliputi; 1) penggantian saringan dengan ukuran yang sesuai yaitu 39 cm x 110 cm; 2) membersihkan *scum* dan menambah koagulan; 3) penggunaan teknologi biofilter anaerob yang memiliki tinggal 32,71 jam, memiliki organic loading rate 7,85 kg COD/m<sup>3</sup>.hari, memiliki *hydraulic loading rate* 0,0036 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam dan memasang *bioball* dari material Poly Vinyl Chloride (PVC) yang berbentuk bola, memiliki diameter 3 cm, luas kontak spesifik 200-240 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, porositas rongga 0,92, berwarna hitam dengan volume 0,94 m<sup>3</sup>; 4) penggunaan Bakteri *Nutrabact Anaerob* yang dosis pemakaian pertama 90-230 mL dan pemakaian harian 47 mL yang dibagi rata ke tujuh kolom biofilter; 5) melakukan netralisasi melalui pembukaan kedua bak kontrol, menambah kapur, dan mengontrol efluen melalui pengaliran ke komponen biotik seperti ikan dan tanaman air.

**Kata kunci:** Unit pengolahan limbah cair; pengolahan anaerob; gudeg kaleng; analisis kinerja

## ABSTRACT

PT XYZ, Yogyakarta produces canned-gudeg national and international. This study aimed the performance analyzed of the WWTP unit at PT XYZ, Yogyakarta, and proposed improvements in their WWTP performance in order to produce effluent which meets the government's quality standards. The study method in WWTP performance analysis was evaluated using dimensional analysis based on quantitative and descriptive method. According to the performance analysis, it was reported that the factors causing the inappropriate of the WWTP include: 1) the filter size of 39 cm×100 cm was not suitable; 2) the dirty scum condition; 3) the anaerobic treatment tank operated above its COD and BOD<sub>5</sub> loading capacity; 4) the use of bacteria that was not suitable to the type of processing; and 5) there was no neutralization process. The corrective resulted based on the analysis of the studied WWTP; 1) replacement of the filter with the appropriate size of 39 cm×110 cm; 2) scum cleaning and addition of coagulant; 3) the use of anaerobic biofilter technology with the residence time of 32.71 hours, organic loading rate of 7.85 kg COD/m<sup>3</sup>.day, hydraulic loading rate of 0.0036 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Hour and installation of bio balls made of PVC material, spherical, diameter 3 cm, the specific contact area 200-240 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, cavity porosity 0.92, black color and volume 0.94 m<sup>3</sup>; 4) the use of anaerobic nutrabact bacteria with the first dose of 90-230 mL and daily use of 47 mL, which is divided equally into seven biofilter columns; 5) neutralization by opening both control tanks and adding lime, as well as controlling the effluent.

**Keywords:** Anaerobic processing; canned-gudeg; performance analysis; Wastewater Treatment Unit (WWTP)

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sedemikian pesat menimbulkan dampak positif dan negatif pada dunia perindustrian. Dari data Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (2019), terdapat 409 industri yang berdiri di Yogyakarta hingga tahun 2019. Semakin bertambahnya industri yang didirikan maka sumbangan air tercemar terhadap lingkungan menjadi ikut bertambah. Upaya pengendalian terhadap cemaran di Indonesia sampai saat ini masih mengalami adanya banyak kendala. Menurut Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2019), kasus pencemaran terhadap lingkungan ditahun 2015 tercatat 5.000 kasus, tahun 2016 tercatat 2.000 kasus, tahun 2017 tercatat 9.000 kasus, tahun 2018 tercatat 4.000 kasus, dan tahun 2019 tercatat 4.000 kasus. Pencemaran ini terjadi sebagai akibat IPAL industri yang tidak terpantau dengan baik (Aprita, 2019). IPAL dapat bekerja dengan baik apabila masing-masing unit pengolahnya memenuhi standar kriteria desain seperti *Organic Loading Rate* (OLR), *Hydraulic Loading Rate* (HLR), dan waktu tinggal. IPAL yang memiliki kinerja baik menurut Goni dkk (2021) mampu menghilangkan zat pencemar secara signifikan seperti pada pengukuran kadar BOD, COD, dan TSS.

PT XYZ yang berlokasi di Daerah Istimewa Yogyakarta telah memproduksi gudeg kaleng yang dipasarkan secara nasional hingga ke luar negeri menghasilkan limbah cair yang meliputi air cucian bahan baku dan air rebusan bahan. Instalasi pengolahan limbah cair yang dimiliki oleh PT XYZ terdiri dari *screening*, bak pemisah, serangkaian bak anaerob, dan dua bak kontrol yang memiliki ukuran berbeda-beda.

Menurut Nasoetion dkk., (2017) pengolahan anaerob pada limbah cair dapat menurunkan kadar BOD<sub>5</sub>, COD, dan TSS berturut-turut 60%, 60%, dan 80%.

Parameter-parameter air limbah yang dikeluarkan dari unit IPAL di PT XYZ perlu dilakukan pengukuran sesuai persyaratan baku mutu. Dihasilkannya air limbah dari IPAL yang melebihi kondisi dari baku mutu yang dipersyaratkan dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan yang mempengaruhi kualitas lingkungan hidup disekitarnya. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis terhadap kinerja IPAL di PT XYZ berdasarkan kesesuaian dengan baku mutu air limbah dengan persyaratan baku mutu air limbah dari pemerintah berdasarkan Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 7 tahun 2016 dan memberikan usulan perbaikan yang berguna bagi perusahaan dalam menangani air limbah dari Unit IPAL yang digunakan.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan Penelitian

Bahan dalam penelitian menggunakan sampel limbah cair dari *inlet* dan *outlet* IPAL industri pengalengan gudeg yang diambil dari PT XYZ di Daerah Istimewa Yogyakarta. Bahan sampel limbah cair yang diambil dari *inlet-outlet* IPAL selanjutnya digunakan sebagai material limbah yang dianalisis melalui pengukuran kandungan BOD, COD, TSS, pH sebagai indikator pengukuran parameter limbah.

### Pengambilan Sampel

Pengumpulan data primer adalah sampling dengan menggunakan metode yang mengacu pada SNI

6989.59-2008 tentang pengambilan contoh limbah cair sesuai dengan kondisi IPAL. Pengambilan sampel pada *inlet* IPAL dilakukan dengan cara komposit waktu, yaitu campuran sampel limbah cair dari satu titik pada waktu yang berbeda dan dengan volume yang sama selama proses produksi berlangsung. Sampel diambil pada titik saluran sebelum memasuki *screening* karena proses produksi menggunakan sistem *batch* dan limbah air berasal dari beberapa saluran pembuangan serta tidak terdapat bak equalisasi. Pengambilan sampel pada *outlet* IPAL dilakukan dengan cara sesaat, yaitu sampel limbah cair diambil sesaat pada satu lokasi tertentu pada saluran pembuangan limbah cair sebelum ke perairan penerima (sungai tempat pembuangan *effluent*). Pengambilan sampel limbah cair sebanyak empat kali perulangan pada IPAL untuk mengurangi bias data dan kemudian dilakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui kadar pencemar limbah cair. Sampel diambil dalam seminggu sejumlah dua kali selama dua minggu pada saat satu *batch* produksi selesai.

## Analisa

Identifikasi tingkat ketidaksesuaian parameter dominan kinerja IPAL dengan Peraturan Daerah Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta no 7 tahun 2016 mengenai Baku Mutu Air Limbah berdasarkan perhitungan indeks ketidaksesuaian terhadap parameter pH, BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, dan suhu. Pengukuran parameter pH dengan acuan SNI 06-6989.11-2004 mengenai cara uji derajat keasaman (pH) melalui pemakaian alat pH meter. Pengukuran parameter pencemar COD dengan acuan SNI 6989.2-2009 mengenai cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) menggunakan refluks tertutup dengan spektrofotometri. Pengukuran parameter pencemar BOD<sub>5</sub> menggunakan acuan SNI 6989.72-2009 tentang cara uji kebutuhan oksigen biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD<sub>5</sub>*). Pengukuran parameter pencemar TSS menggunakan acuan SNI 06-6989.3-2004 mengenai Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspended Solid/TSS*) secara *Gravimetri*. Indeks ketidaksesuaian dihitung dengan Persamaan 1.

$$\text{Indeks Ketidaksesuaian} = \frac{\text{Parameter}_{\text{in}} - \text{Parameter}_{\text{baku mutu}}}{\text{Parameter}_{\text{baku mutu}}} \quad (1)$$

Efisiensi removal/Kinerja IPAL (%) dihitung dengan Persamaan 2.

$$\text{Efisiensi removal (\%)} = (C_{\text{in}} - C_{\text{out}}) / C_{\text{in}} \times 100 \quad (2)$$

Dalam hal ini C<sub>in</sub> dan C<sub>out</sub> merupakan konsentrasi aliran masuk dan keluar, masing-masing (mg/L)

Analisis penyebab dan faktor penyebab ketidaksesuaian parameter dominan kinerja IPAL dilakukan menggunakan analisis dimensi berdasarkan data pengukuran secara kuantitatif dan analisis deskriptif kualitatif. Analisis deskriptif dilakukan dengan melakukan wawancara terhadap beberapa narasumber ahli untuk mendapatkan hasil analisis yang tepat dan objektif. Perhitungan *organic loading rate* menggunakan Persamaan 3. *Organic loading rate* adalah besaran yang menyatakan jumlah bahan organik dalam limbah cair yang diuraikan oleh mikroorganisme dalam reaktor per unit volume per hari (Kothari dkk., 2014). Apabila beban organik yang masuk melebihi kapasitas unit pengolah pada IPAL maka akan ada sisa beban organik yang tidak terolah sehingga pengolahan pada unit tersebut tidak efektif.

$$\text{OLR} = \frac{\text{Beban organik}_{\text{in}} \times Q}{V} \quad (3)$$

Dimana OLR = *Organic loading rate* (kg/m<sup>3</sup>.hari), Beban organik<sub>in</sub> = Beban BOD atau COD yang masuk (kg/m<sup>3</sup>), Q = Debit limbah cair masuk (m<sup>3</sup>/hari) dan V = Volume bak pengolah (m<sup>3</sup>)

Usulan perbaikan dilakukan dengan menggunakan analisis dimensi secara kuantitatif dengan menggunakan Persamaan 4. Waktu tinggal yang direncanakan berguna untuk memaksimalkan proses pemisahan agar tidak ikut hanyut ke sungai buangan (Siregar, 2005). Cara untuk menentukan waktu tinggal yang dibutuhkan untuk bak pemisah adalah dengan membagi volume bak pemisah (V<sub>bak</sub>) dengan debit limbah cair (Q) ((Ratnawati dkk., 2014)

$$\text{Waktu tinggal} = \frac{V_{\text{bak}}}{Q} \quad (4)$$

Dengan Waktu tinggal = Waktu tinggal di unit pengolah (hari), V<sub>bak</sub> = Volume bak unit pengolah (m<sup>3</sup>) dan Q = Debit limbah cair masuk (m<sup>3</sup>/hari)

Untuk memperhitungkan tingkat *overflow rate* digunakan Persamaan 5. *Overflow rate* didefinisikan sebagai volume aliran air per satuan waktu dibagi dengan luas permukaan bak dan biasanya dinyatakan dalam kecepatan (Indrawan dkk., 2017). Apabila nilai *overflow rate* melebihi kriteria desain maka dapat disimpulkan debit masuknya limbah cair ke dalam IPAL sehingga terjadi limpahan/pembludakan.

$$\text{Overflow Rate} = \frac{Q}{P \times L} \quad (5)$$

Dimana *Overflow rate* = laju limpahan (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari), Q=Debit limbah cair masuk (m<sup>3</sup>/hari), P=Panjang bak unit pengolah (m), dan L=Lebar bak unit pengolah (m). Untuk perhitungan

Tabel 2. Hasil uji parameter limbah cair

No	Parameter	Satuan	Influen	Bak pemisah	Efluen	Baku mutu Kadar /Rentang Maksimum*	Keterangan
1	pH*	-	6	4	4,75	6-9	Tidak sesuai
2	BOD <sub>5</sub>	mg/L	2908,75	2115	379,25	50	Tidak sesuai
3	COD	mg/L	11418,75	8875	834,38	125	Tidak sesuai
4	TSS	mg/L	502,50	481	142,75	200	Sesuai
5	Suhu*	°C	29,50	30	29,63	28±3	Sesuai

Keterangan: \*parameter proses pengolahan bak anaerob

\* Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah.

panjang pipa dipergunakan Persamaan 6 dan perhitungan volume media bakteri dipergunakan Persamaan 7.

$$\text{Panjang pipa} = 50\% - 60\% \times \text{Hair} \quad (6)$$

$$V_{med} = 40\% \times V_{biofilter} \quad (7)$$

Dengan Panjang pipa = Laju limpahan ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ ), dan  $H_{air}$  = Tinggi air efektif ( $\text{m}^3/\text{hari}$ ),  $V_{med}$  = volume media pelekatan bakteri ( $\text{m}^3$ ) dan  $V_{biofilter}$  = volume bak biofilter ( $\text{m}^3$ ). Untuk perhitungan *hydraulic loading rate* dipergunakan Persamaan 8. Dengan luas permukaan spesifik media *bioball* adalah 200-240  $\text{m}^2/\text{m}^3$ .

$$HLR = \frac{Q}{A_{med}} = \frac{Q}{A_{spesif} \times V} \quad (8)$$

Dimana  $HLR$  = *Hydraulic loading rate* ( $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ ),  $Q$  = Debit limbah cair masuk ( $\text{m}^3/\text{hari}$ ),  $A_{med}$  = Luas permukaan media pelekatan ( $\text{m}^2$ ),  $A_{spesif}$  = Luas permukaan spesifik media yang digunakan ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ) dan  $V$  = Volume bak ( $\text{m}^3$ ). *Hydraulic Loading Rate* adalah jumlah debit air yang masuk dibagi dengan luas area media.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengolahan limbah cair yang mengandung bahan organik umumnya dilakukan pengolahan menggunakan proses biologis yang menggunakan gabungan proses biologis dan proses kimia-fisika (Permadi, 2011). Proses pengolahan biologis dapat terjadi secara aerob (dengan pasokan oksigen) dan anaerob (tanpa pasokan oksigen). Menurut menurut Tamyiz (2015), proses anaerob digunakan apabila beban BOD<sub>5</sub> dalam limbah cair sangat tinggi, sedangkan proses aerob digunakan apabila beban BOD<sub>5</sub> dalam limbah cair tidak terlalu tinggi. Pengolahan secara biologis dapat dilakukan apabila nilai rasio BOD<sub>5</sub>/COD limbah cair berkisar antara 0,2-0,5 (Tamyiz, 2015)

PT XYZ menggunakan proses biologis untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan. Secara garis besar

proses pengolahan limbah cair yang dilakukan oleh PT XYZ adalah *screening*, bak pemisah, dan serangkaian bak anaerob. Bak *screening* berfungsi menyaring padatan besar dan sampah yang ikut mengalir bersama dengan aliran limbah cair agar mempermudah pengolahan selanjutnya (Setiyono, 2018). Bak pemisah merupakan bak yang digunakan untuk mengolah limbah cair dengan proses fisika. Terjadi pengapungan dan pengendapan partikel terlarut pada bak ini sehingga partikel-partikel yang memiliki masa jenis lebih besar atau lebih kecil dari limbah cair dapat tersisihkan dan mengurangi beban pencemar BOD, COD, dan TSS (Ikbal, 2018). Bak anaerob adalah bak yang berfungsi untuk mengurangi beban pencemar BOD<sub>5</sub>, COD, dan TSS. Fungsi dari unit pengolah biofilter anaerob adalah untuk mengolah limbah cair dengan cara pengolahan biologis. Pengolahan bahan organik oleh bakteri dalam proses anaerob dipengaruhi oleh jenis bakteri beserta kondisi kultur meliputi suhu dan pH (Wardhani dkk., 2013). Kapasitas awal IPAL adalah 2,64  $\text{m}^3/\text{hari}$ . Debit limbah cair yang masuk ke dalam IPAL adalah 1,58  $\text{m}^3/\text{hari}$ .

## Identifikasi Ketidaksesuaian Parameter Kinerja Dominan IPAL dengan Baku Mutu

Identifikasi ketidaksesuaian kinerja IPAL dilakukan dengan melihat hasil kinerja IPAL pada beberapa parameter yaitu BOD<sub>5</sub>, COD, dan TSS. Selain itu juga

Tabel 3. Hasil pengukuran kinerja IPAL saat ini

No	Parameter	Kinerja IPAL (%)
1	pH	-
2	BOD <sub>5</sub>	87%
3	COD	93%
4	TSS	72%
5	Suhu	-

dilakukan pengukuran suhu dan pH sebagai parameter proses dalam pengolahan limbah cair. Terdapat empat data perulangan pengukuran kinerja IPAL yang kemudian dirata-rata dan disajikan dalam Tabel 2. yang menunjukkan adanya ketidaksesuaian yang terjadi pada kinerja IPAL mengacu berdasarkan Peraturan Daerah Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 mengenai Baku Mutu Air Limbah Kinerja IPAL. Tabel 3 menyatakan hasil pengukuran kinerja IPAL pada PT XYZ.

Parameter dominan kinerja IPAL yang tidak sesuai dengan baku mutu adalah pH dengan ketidaksesuaian 0,21, BOD<sub>5</sub> dengan ketidaksesuaian 6,59, COD dengan ketidaksesuaian 5,68 dibandingkan dengan Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Pengolahan anaerob dapat menurunkan kadar BOD<sub>5</sub>, COD, dan TSS berturut-turut 60%, 60%, dan 80% (Nasoetion dkk., 2017) dan menurut Goni dkk (2021) mampu menghilangkan zat pencemar secara signifikan seperti pada kadar BOD, COD dan TSS. Menurut Fitri dkk., (2016) pada penelitian penggunaan biofilter anaerob untuk limbah cair industri MSG menunjukkan dengan waktu tinggal hidraulik 14,42 hari dapat menurunkan konsentrasi COD, BOD, dan TSS dengan efisiensi penurunan konsentrasi COD 20,67% - 30,88% ; BOD 7,70% - 45,71%, dan TSS 12,32% - 62,82%. Pengolahan pada IPAL saat ini dapat menurunkan kadar BOD<sub>5</sub> dan COD dengan persentase melebihi yang seharusnya tetapi efluen yang dihasilkan masih belum memenuhi baku mutu karena kadar BOD<sub>5</sub> dan COD dalam influen terlalu tinggi dibuktikan dengan perhitungan indeks ketidaksesuaian yang mencapai 57,18 dan 90,35. Sementara, penurunan kadar TSS masih kurang dari persentase seharusnya tetapi efluen yang dikeluarkan telah memenuhi baku mutu karena kadar TSS dalam influen tidak terlalu tinggi dibuktikan dengan indeks ketidaksesuaian yang menunjukkan angka 1,51.

## **Analisis Penyebab dan Faktor Penyebab Ketidaksesuaian Kinerja IPAL beserta Solusinya**

### **Screening**

Hasil yang diharapkan dari proses penyaringan di *screening* adalah limbah cair yang bersih dari sampah dan padatan-padatan sisa proses produksi dengan ukuran lebih dari 4000  $\mu\text{m}$  (4 mm). Namun, pada kondisi aktualnya masih terdapat padatan-padatan dengan ukuran lebih dari 4000  $\mu\text{m}$  yang lolos saring dan padatan yang tertahan di plat *screening* sangat sedikit sehingga dapat disimpulkan bahwa proses penyaringan kurang maksimal karena ukuran plat *screening* tidak sesuai dengan bak *screening*. Solusi yang dapat

dilakukan adalah mengganti plat *screening* yang ada dengan plat *screening* yang sesuai ukurannya dengan ukuran *screening* agar tidak ada lubang disamping plat *screening* yang membuat padatan lolos saring. Ukuran plat *screening* yang dibutuhkan adalah 39 cm  $\times$  110 cm. Peralatan *screening* harus dibersihkan setiap hari agar tidak terjadi akumulasi padatan dan sampah yang dapat menyebabkan tersumbatnya saluran limbah cair (Arifudin & Setiyono, 2020)

### **Bak pemisah**

Jika padatan yang lolos saring terlalu banyak maka beban organik yang masuk pada unit pengolah selanjutnya menjadi lebih besar dan pembersihan akumulasi *scum* harus lebih sering dilakukan. *Scum* dapat menghalangi proses pengikatan oksigen dari udara sehingga reaksi yang terjadi adalah reaksi fermentasi oleh bakteri anaerob). Reaksi fermentasi menghasilkan asam asetat, metana, karbondioksida oleh bakteri asetaldehid dan terjadi pembentukan hidrogen sulfat oleh bakteri pemakan sulfat (Siregar, 2005). Hasil fermentasi yang bersifat asam menyebabkan pH limbah cair menjadi turun (Padmono, 2003). *Scum* yang tidak dibersihkan dan menumpuk juga dapat menyebabkan proses pemisahan partikel terapung dan terendap tidak optimal sehingga tujuan dari proses pemisahan tidak tercapai karena *scum* dapat menyebabkan beban pengolahan organik menjadi besar. Penyisihan bahan pencemar limbah cair BOD, COD, dan TSS pada proses pemisahan ini menurut Nasoetion dkk., (2017) secara berturut-turut yaitu 30%, 30%, dan 50%.

Pada IPAL saat ini akumulasi *scum* dan lumpur pada bak pengolahan anaerob terbentuk dari hasil flotasi dan sedimentasi partikel dalam limbah cair yang lolos dari proses *screening*. Partikel-partikel yang terapung akan terakumulasi menjadi *scum* dan partikel-partikel yang terendapkan akan menjadi lumpur sehingga harus dipisahkan agar tidak mengganggu proses pengolahan utama (Setiyono, 2018). Kriteria desain yang perlu diperhatikan untuk bak pemisah adalah waktu tinggal untuk flotasi, waktu tinggal untuk sedimentasi, dan *overflow rate*. Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil waktu tinggal bak pemisah yang dibutuhkan adalah 5,12 jam dan *overflow ratenya* adalah 4,69  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ . Kemudian, dilakukan pengecekan perhitungan dengan kriteria desain seperti diperlihatkan dalam Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 4, nilai *overflow rate* yang sesuai berdasarkan kriteria desain sedangkan waktu tinggal hasil perhitungan lebih besar jika dibandingkan dengan kriteria desain karena volume bak pemisah lebih besar dari volume bak yang dibutuhkan. Namun, hal itu tidak menjadi masalah karena semakin lama waktu tinggal pada bak sedimentasi hingga waktu tertentu maka

Tabel 4. Perbandingan hasil perhitungan berdasarkan kriteria desain bak pemisah

No	Faktor desain	Kriteria desain	Perhitungan	Keterangan
1	Waktu tinggal	2-3 jam	5,04 jam	Tidak Sesuai
2	<i>Overflow rate</i>	<50 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari	4,69 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari	Sesuai

Sumber: Data olahan (2021)

semakin baik efisiensi pengendapannya (Sarwono dkk., 2017). Selain itu, diperlukan penambahan koagulan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan kadar bahan pencemar organik yang masuk pada bak pemisah. Koagulasi dan flokulasi menurut Kristijarti dkk., (2013) berfungsi untuk membentuk koloid menjadi flok-flok dengan cara mendestabilisasi koloid. Kebutuhan dosis koagulan dalam suatu pengolahan air limbah tidak dapat dilakukan berdasarkan kekeruhannya namun harus dilakukan berdasarkan percobaan guna mendapatkan dosis yang tepat. Koagulan dapat berupa garam-garam logam (anorganik) ataupun polimer (organik), seperti ekstrak biji kelor dan ekstrak biji asam jawa. Secara umum, koagulan organik tidak mempengaruhi terhadap alkalinitas dan pH air, sedangkan koagulan anorganik dapat mengurangi alkalinitas air dan menurunkan pH air (Kristijarti dkk., 2013).

### Bak anaerob

Limbah yang dihasilkan oleh PT XYZ mengandung 2908,75 mg/L BOD<sub>5</sub> dan 11418,75 mg/L COD, sehingga didapatkan rasio BOD<sub>5</sub>/CODnya adalah 0,25. PT XYZ memilih pengolahan secara anaerob karena sistem pengolahan IPALnya menggunakan *Anaerobic Biofilter* yang memiliki kelebihan tinggi dalam menyisihkan bahan organik, tidak besar kebutuhan lahan yang digunakan, dan murah biaya operasi jika dibandingkan terhadap penggunaan tangki aerasi atau sistem lumpur aktif yang kurang sesuai dengan kondisi lahan (Firmansyah & Razif, 2016). Saat ini, IPAL PT XYZ menggunakan pengolahan anaerob dengan sistem terlarut. Hasil yang diharapkan dari pengolahan pada pengolahan anaerob adalah limbah cair yang telah memenuhi baku mutu Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016. Namun, pada kondisi aktualnya kadar BOD<sub>5</sub> dan COD yang terukur pada efluen IPAL masih belum memenuhi baku mutu sehingga dapat disimpulkan bahwa teknologi pengolahan anaerob yang digunakan belum cukup untuk mengolah limbah cair. Beban organik yang dapat diolah dengan sistem terlarut kolam anaerobik adalah <0,129 kg BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.hari, sistem terlarut *Anaerobic Baffle Reactor* (ABR) adalah <3 kg COD/m<sup>3</sup>.hari, dan sistem terlarut *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) adalah 0,3-1 kg COD/m<sup>3</sup>.hari. Beban organik yang dapat diolah dengan sistem

terlekat *Alternative Fuel and Raw Material* (AFR) adalah 0,2-15 kg COD/m<sup>3</sup>.hari. Diperoleh nilai beban organik berdasarkan kadar COD yang masuk ke IPAL adalah 6,83 kg COD/m<sup>3</sup>.hari dan perhitungan beban organik berdasarkan kadar BOD<sub>5</sub> yang masuk ke IPAL adalah 1,74 kg BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.hari sehingga dapat disimpulkan teknologi yang paling sesuai untuk digunakan untuk pengolahan pada IPAL PT XYZ adalah AFR (*Anaerobic Filter Reactor*)/Biofilter Anaerob dengan beban organik yang mampu diolah sebesar 0,2-15 kg COD/m<sup>3</sup>.hari. Aplikasi biofilter anaerob sudah banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair dan menunjukkan efisiensi terbaik (Yusuf & Panca, 2019).

Beban organik COD lebih tinggi dari BOD disebabkan nilai BOD hanya dipengaruhi jumlah TSS dan juga zat organik dalam air saja, sedangkan nilai COD sendiri dipengaruhi seluruh pencemar air terdiri zat organik, mineral yang memiliki valensi rendah dan senyawa kimia lain yang reaktif terhadap oksigen (*oxygen scavenger*) (Santoso, 2018). Kemudian, aliran limbah cair dalam IPAL hanya di permukaan saja juga menyebabkan pengolahan limbah cair kurang optimal karena untuk menurunkan kandungan COD dalam air limbah diperlukan pengadukan atau agitator untuk meningkatkan *supply* oksigen sehingga menyebabkan kandungan oksigen meningkat (Said 2010, dalam Islamawati dkk., 2018). Kadar BOD dan COD pada limbah cair yang tinggi menyebabkan jumlah oksigen terlarutnya menjadi rendah sehingga bakteri yang sebaiknya digunakan yaitu bakteri anaerob atau bakteri aerob yang fakultatif. Salah satu metode yang dapat diaplikasikan adalah mengurangi BOD dalam limbah menurut Hendrasari (2016) adalah melalui pemanfaatan mikroorganisme (bioremediasi). Pengolahan limbah dengan mikroorganisme seperti ini telah banyak dilakukan, dan proses pengolahan limbah melalui penggunaan mikroorganisme termasuk pengolahan limbah yang sangat sederhana dan mudah untuk dilakukan.

Keunggulan dari biofilter anaerob adalah pengelolaan yang mudah, tidak perlu lahan yang luas, lumpur yang dihasilkan relatif sedikit jika dibandingkan dengan proses lumpur aktif, dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor yang menyebabkan eutrofikasi, dapat mengolah beban BOD<sub>5</sub> cukup besar, mampu menghilangkan padatan tersuspensi secara baik.

Tabel 5. Perbandingan hasil perhitungan dengan kriteria desain biofilter anaerob

No	Faktor desain	Kriteria desain	Perhitungan	Keterangan
1	Waktu tinggal	24-48 jam <sup>a</sup>	34,94 jam	Sesuai
2	Panjang <i>baffle</i> /pipa	50%-60% dari ketinggian <sup>b</sup>	50-60 cm	Sesuai
3	Volume media pembiakan	40% volume reaktor <sup>a</sup>	0,92 m <sup>3</sup>	Sesuai
4	<i>Organic loading rate</i>	5-10 kg COD/m <sup>3</sup> .hari <sup>c</sup>	7,85 kg COD/m <sup>3</sup> .hari	Sesuai
5	Luas permukaan media biofilter	90-300 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> <sup>d</sup>	200-240 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Sesuai
6	<i>Hydraulic loading rate</i>	<2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam	0,0036 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam	Sesuai

Sumber: Data olahan (2021)

Menurut Nasoetion dkk., (2017) biofilter anaerob dapat menghilangkan kadar BOD<sub>5</sub> dengan efisiensi 70%-95%, menghilangkan kadar COD dengan efisiensi 70%-95%, dan menghilangkan kadar pencemar TSS dengan efisiensi 80%-95%. Kriteria desain yang digunakan untuk perhitungan adalah waktu tinggal yang dibutuhkan untuk biofilter anaerob, panjang *baffle*/pipa, volume bed pembiakan mikroba, *organic loading rate*, dan *hydraulic loading rate*.

Berdasarkan perhitungan didapatkan hasil waktu tinggal pada biofilter anaerob adalah 34,94 m<sup>3</sup>, panjang *baffle*/pipa yang diperbolehkan adalah 50-60 cm, volume media pembiakan mikroba yang dibutuhkan adalah 0,92 m<sup>3</sup>, *organic loading rate* 7,85 kg COD/m<sup>3</sup>.hari, dan *hydraulic loading rate* 0,0036 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam. Kemudian, dilakukan pengecekan kesesuaian hasil perhitungan dalam kriteria desain seperti disajikan pada Tabel 5.

Pada biofilter anaerob, bakteri memerlukan media untuk melekat, semakin luas area untuk bakteri melekat maka semakin banyak pula bakteri yang hidup dan mempercepat proses penguraian bahan pencemar (Said & Utomo, 2018). Kriteria media yang ideal menurut Said (2017), kriteria media yang ideal diantaranya memiliki luas permukaan spesifik yang besar, memiliki fraksi volume rongga tinggi, adanya diameter celah bebas yang besar, memiliki ketahanan terhadap penyumbatan, terbuat dari bahan *inert*, memiliki harga per unit luas permukaan yang murah, memiliki kekuatan mekanik yang baik, ringan, fleksibel dan mudah pemeliharaannya, memiliki kebutuhan energi yang kecil, mampu mereduksi cahaya, dan sifat kebasahan. Pada Gambar 1 ditunjukkan jenis media yang digunakan untuk pelekatan bakteri seperti pada *bioball*.

Spesifikasi media *bioball* yang dipakai diantaranya dibuat dari bahan material PCV, memiliki bentuk bola dengan diameter 4 cm, memiliki luas kontak spesifik 200-240 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, memiliki porositas rongga 0,92, dengan warna hitam. Pada volume *bed* media yang dibutuhkan untuk biofilter anaerob yaitu 0,94 m<sup>3</sup>.



Gambar 1. Media *bioball*  
Sumber: (Anonim, 2022)

Kemudian dalam biofilter anaerob membutuhkan bakteri pengurai untuk membantu pemecahan senyawa organik, bakteri yang digunakan untuk IPAL PT XYZ adalah *Nutrabact*. Disarankan melakukan penggantian jenis bakteri *Nutrabact*, yang semula berjenis aerob menjadi bakteri yang bekerja secara anaerob menyesuaikan kondisi pengolahan dalam IPAL. Berdasarkan dosis yang tertera pada kemasannya, dosis pemakaian bakteri awal adalah 1 L untuk 10-25 m<sup>3</sup> limbah cair dan dosis pemakaian bakteri harian adalah 1 L untuk 50 m<sup>3</sup> limbah cair. Volume biofilter anaerob yang direncanakan adalah 2,356 m<sup>3</sup>, artinya dibutuhkan 0,09-0,23 L (90-230 mL) pada penggunaan pertama dan 0,047 L (47 mL pada penggunaan harian untuk 7 kolom biofilter).

Selain itu, setelah diolah secara anaerob harus dilakukan netralisasi. Netralisasi merupakan reaksi asam dan basa yang menghasilkan garam dan air. Netralisasi untuk meningkatkan derajat keasaman limbah cair dapat dilakukan dengan penambahan larutan kapur (Siregar, 2005). Larutan kapur (Ca(OH)<sub>2</sub>) merupakan

Tabel 6. Penyebab dan faktor penyebab ketidaksesuaian kinerja IPAL

Parameter ketidaksesuaian	Penyebab	Faktor penyebab	Solusi
pH	Bak pemisah	Banyak <i>scum</i> sehingga terjadi reaksi fermentasi anaerobik menghasilkan asam dan CO <sub>2</sub> yang menurunkan nilai pH	Membersihkan <i>scum</i> minimal seminggu sekali untuk menjaga pH limbah cair yang masuk ke bak anaerob
	Bak anaerob	Tidak ada netralisasi pH	Netralisasi pH dengan membuka bak kontrol dan penambahan kapur bila perlu
BOD <sub>5</sub>	<i>Screening</i>	Penyaringan yang kurang optimal sehingga banyak padatan lolos saring	Penggantian plat <i>screening</i>
	Bak anaerob	Penggunaan teknologi pengolahan yang kurang sesuai  Tidak sesuainya teknologi pengolahan yang digunakan	Penyesuaian teknologi pengolahan menggunakan biofilter anaerob  Mengganti bakteri yang digunakan menjadi jenis bakteri anaerob
COD	Bak pemisah	Penyisihan polutan organik pada bak pemisah belum optimal	Penambahan koagulan untuk memaksimalkan proses pemisahan.
	Bak anaerob	Aliran limbah cair dalam IPAL hanya di permukaan saja  Mikroorganisme yang digunakan dalam pengolahan tersebut tidak sesuai dengan banyaknya COD yang terkandung dalam limbah cair	Memasang pipa sebagai agitator  Menambahkan bakteri sesuai dengan dosis dan takaran penggunaan.

basa dengan kekuatan sedang yang dapat bereaksi dengan berbagai asam. Larutan kapur bereaksi dengan asam menghasilkan garam dan air yang bersifat netral. Hal ini disebabkan ion H<sup>+</sup> di dalam limbah cair terjadi reaksi bersama ion OH<sup>-</sup> yang terkandung dalam larutan kapur. Konsentrasi kapur untuk menaikkan pH 1 L air yang semula <6,5 menjadi 7,26 dengan penambahan konsentrasi kapur (Ca(OH)<sub>2</sub>) 1000 ppm sebanyak 4 mL (Sakti & Rodiah, 2020)

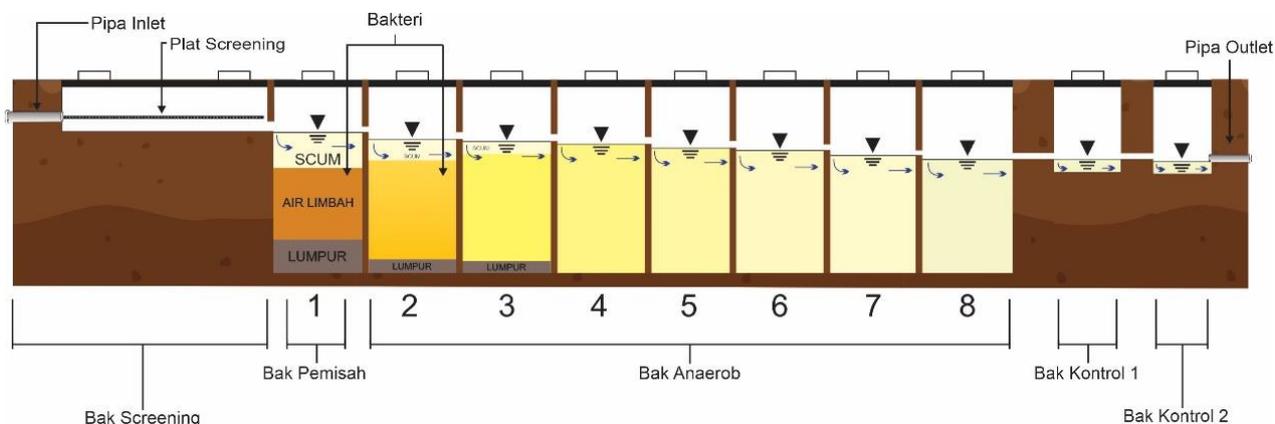
Netrasiisasi juga dapat dilakukan melalui aerasi. Aerasi merupakan penambahan oksigen ke dalam air yang menjadikan oksigen terlarut di air menjadi semakin tinggi (Yuniarti dkk., 2019). Beberapa fungsi yang utama dari aerasi yaitu melarutkan oksigen ke dalam air dalam meningkatkan kadar oksigen terlarut, melepaskan kandungan gas-gas yang terlarut dalam air dan membantu pengadukan air. Aerasi yang alami merupakan kontak yang terjadi antara air dan udara karena pergerakan air secara alami (Yuniarti dkk., 2019). pH dalam perairan terkait langsung dengan oksigen terlarut, dimana saat oksigen terlarut rendah maka pH air menjadi rendah dan sebaliknya sehingga proses aerasi dapat meningkatkan

derajat keasaman limbah cair menjadi mendekati netral (Paena dkk., 2015).

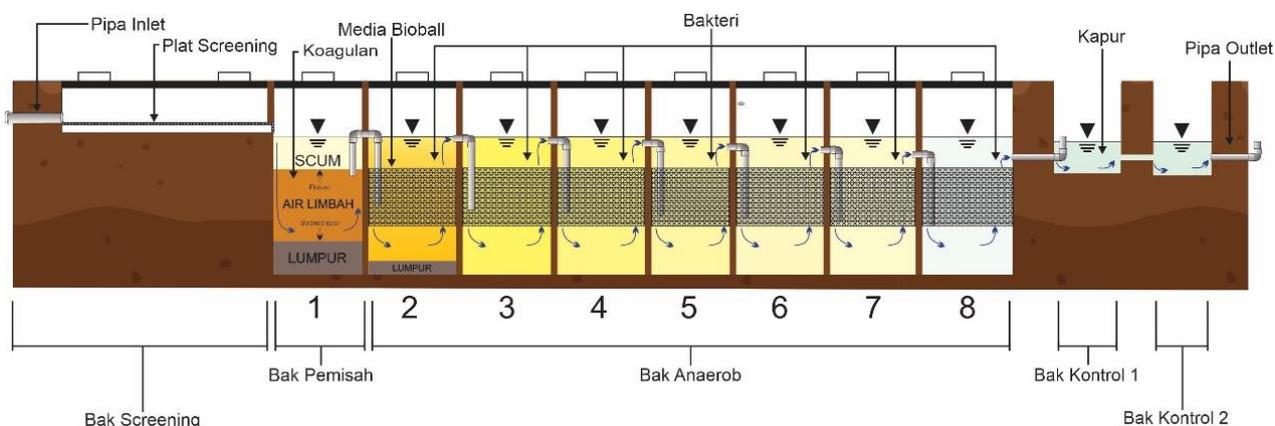
Berdasarkan uraian tersebut diperoleh penyebab dan faktor penyebab ketidaksesuaian kadar parameter pH, BOD<sub>5</sub> dan COD seperti yang disajikan pada Tabel 6.

Gambar 2 menunjukkan perbedaan kondisi IPAL usulan perbaikan dengan IPAL awal di PT XYZ. Kondisi IPAL awal PT XYZ dalam Gambar 2 a) terdiri dari *screening*, bak pemisah, bak anaerob, dan dua bak kontrol yang seluruh baknya dibuat tertutup. Pada IPAL saat ini limbah cair dialirkan ke IPAL untuk proses *screening* agar sampah yang terbawa dapat tersisihkan dan dibuang menjadi limbah padat. Setelah mengalami penyaringan, limbah cair diolah pada bak pemisah untuk memisahkan senyawa pencemar berdasarkan massa jenisnya sehingga limbah cair lebih jernih dan juga ditambahkan bakteri pengurai di dalamnya. Setelah mengalami proses pemisahan, limbah cair diolah oleh bakteri anaerob alami dan bakteri pengurai tambahan yang diberikan pada kolom ke 2 dengan sistem terlarut. Selanjutnya, limbah cair dialirkan ke bak kontrol yang diberi penutup.

a) Skema Gambar IPAL Awal PT XYZ



b) Skema Usulan Perbaikan IPAL PT XYZ.



Gambar 2. IPAL kondisi Awal PT XYZ (a) dan usulan perbaikan (b)

Gambar 2 b) menunjukkan kondisi IPAL PT XYZ pada usulan perbaikan yang terdiri dari *screening*, bak pemisahan, biofilter anaerob, dan dua bak kontrol dengan *screening*, bak pemisah, dan biofilter anaerob dibuat tertutup kemudian kedua bak kontrol dibiarkan terbuka. Pada IPAL usulan perbaikan, limbah cair dialirkan ke IPAL untuk proses *screening* dan memastikan semua sampah dapat tersaring dan dibuang menjadi limbah padat. Setelah mengalami penyaringan, limbah cair diolah pada bak pemisah untuk memisahkan senyawa pencemar berdasarkan massa jenisnya secara alami sehingga limbah cair lebih jernih. Pemisahan dapat dioptimalkan dengan penambahan senyawa koagulan. Kemudian senyawa pencemar dan terapung dibersihkan secara berkala agar pemisahan tetap efektif. Setelah itu, limbah cair dialirkan ke biofilter anaerob dengan media *bioball* untuk menguraikan senyawa organik oleh bakteri anaerob alami dan bakteri pengurai yang ditambahkan pada kolom 2 hingga kolom 8. Limbah cair yang dihasilkan dari proses anaerob akan bersifat asam sehingga perlu dilakukan netralisasi dengan kapur

dan juga membuka bak kontrol agar limbah cair dapat mengikat oksigen lebih banyak secara alami sehingga kandungan oksigen terlarut dalam limbah cair menjadi lebih tinggi dan derajat keasaman limbah cair lebih mendekati netral.

**KESIMPULAN**

Ketidaksesuaian kinerja IPAL PT XYZ dalam penelitian didapatkan meliputi ukuran saringan yang kurang sesuai yaitu 3 cmx100 cm, kondisi scum kotor yang tidak dibersihkan, bak pengolahan anaerob yang digunakan mengolah beban COD yang besarnya 6,74 kg COD/m<sup>3</sup>.hari dan beban BOD<sub>5</sub> 1,71 kg BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.hari telah melebihi batas kapasitas yang dimiliki yang hanya memiliki kemampuan mengolah beban COD 6,32 kg COD/m<sup>3</sup>.hari dan beban BOD<sub>5</sub> 1,51 kg BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.hari, penggunaan bakteri yang tidak sesuai dengan jenis pengolahan dan tidak adanya proses netralisasi. Usulan perbaikan terhadap analisa kinerja IPAL agar dapat bekerja sesuai dengan Peraturan Daerah

Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah dari hasil penelitian yaitu melakukan penggantian saringan dengan ukuran yang sesuai yaitu 39 cm×110 cm; pembersihan *scum* dan koagulan ditambahkan; pemasangan teknologi biofilter anaerob dengan waktu tinggal 32,71 jam, *organic loading rate* 7,85 kg COD/m<sup>3</sup>.hari, *hydraulic loading rate* 0,0036 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.jam; pemakaian *bioball* dari material PVC, berbentuk bola, diameter 3 cm, luas kontak spesifik 200-240 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, porositas rongga 0,92, berwarna hitam dan volume 0,94 m<sup>3</sup>; pemakaian pipa dengan panjang 50-60 cm; penggunaan Bakteri *Nutrabact Anaerob* dengan dosis pemakaian pertama 90-230 mL dan pemakaian harian 47 mL yang dibagi rata ke tujuh kolom biofilter; melakukan netralisasi melalui membuka kedua bak kontrol dan menambahkan kapur dan pengontrolan efluen melalui pengaliran ke komponen biotik misalkan ikan atau tanaman air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2022, Oktober 2). *Apa media filter yang paling baik susunannya?*. *Nakamaaquatic.id* 19 Agustus 2022. <https://nakamaaquatics.id/apa-media-filter-paling-baik-susunannya>
- Aprita, A. (2019, Januari 29). Kualitas Lingkungan Hidup di Sleman Buruk, Hampir Semua Sungai Alami Pencemaran. *Surat Kabar Tribun Jogja*, 7–7.
- Arifudin, A., & Setiyono, S. (2020). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Gedung Perkantoran X di Jakarta. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 12(2). <https://doi.org/10.29122/jrl.v12i2.4017>
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2019, Juli 18). *Lingkungan Hidup: Kasus Lingkungan Kabupaten Sleman*. [https://bappeda.jogjaprovo.go.id/dataku/data\\_dasar](https://bappeda.jogjaprovo.go.id/dataku/data_dasar).
- Firmansyah, Y. R., & Razif, M. (2016). Perbandingan Desain IPAL *Anaerobic Biofilter* dengan Rotating Biological Contactor untuk Limbah Cair Tekstil di Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17862>
- Fitri, H. M., Hadiwidodo, M., & Kholiq, M. A. (2016). Penurunan Kadar COD, BOD, dan TSS pada Limbah Cair Industri MSG (*Monosodium Glutamat*) dengan Biofilter *Anaerob Media Bio-Ball*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1), 1–5.
- Goni, P., Mangangka, I. R., & Sompie, O. B. A. (2021) Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit Umum Pusat Prof.Dr. R.D. Kandau Manado. *TEKNO – Volume 19 Nomor 77 – April 2021*, 18(77), 35–40.
- Hendrasari, R. S. (2016). Kajian Penurunan Kadar BOD Limbah Cair Tahu Pada Berbagai Variasi Aliran. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 19(1), 26–36.
- Ikkal, I. (2018). Peningkatan Kinerja IPAL Lumpur Aktif dengan Penambahan Unit Biofilter (Studi Kasus IPAL Pasaraya Blok M, Kapasitas 420 M3/Hari). *Jurnal Air Indonesia*, 9(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v9i1.2471>
- Indrawan, F., Oktiawan, W., & Zaman, B. (2017). Pengaruh Rasio Panjang dan Jarak Antar Plate Settler Terhadap Efisiensi Penyisihan Total Suspended Solids (TSS) pada Reaktor Sedimentasi *Rectangular*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 1–9.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2019, Januari 10). *Direktori Perusahaan Industri: Lokasi D. I. Yogyakarta*. <https://kemenperin.go.id/direktori-perusahaan?what=&prov=34>.
- Kristijarti, A. P., Suharto, I., & Marieanna Marieanna. (2013). Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X. *Laporan Penelitian*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. Universitas Katolik Parahyangan.
- Nasoetion, P., Diah Ayu, W. S., Saputra, M., & Ergantara, R. I. (2017). Evaluasi dan Redesign Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) RS Pertamina Bintang Amin Bandar Lampung. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains* 1(2), 75–86.
- Padmono, D. (2003). Pengaruh Beban Organik terhadap Efisiensi *Anaerobic Fixed Bed Reactor* Dengan Sistem Aliran Catu *Up-Flow*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 4(3), 148–154.
- Paena, M., Suhaimi, R. A., & Undu, Muh. C. (2015). Analisis konsentrasi oksigen terlarut (DO), pH, Salinitas dan Suhu pada Musim hujan terhadap penurunan kualitas air perairan Teluk Punduh Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Seminar Nasional Kelautan X, Sinergitas Teknologi dan Sumber Daya Kelautan untuk Mewujudkan Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia*, C2.1-C2.8.
- Permadi, P. (2011). Utilitas Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit. *Nalars*, 10(2). <https://doi.org/10.24853/nalars.10.2.%p>
- Ratnawati, R., al Kholif, M., & Sugito, S. (2014). Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Biofilter Untuk Mengolah Air Limbah Poliklinik UNIPA Surabaya. *Waktu: Jurnal Teknik UNIPA*, 12(2), 73–82. <https://doi.org/10.36456/waktu.v12i2.915>
- Said, N. I. (2017). Aplikasi *Bio-Ball* untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean *Jurnal Air Indonesia*, 1(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v1i1.2276>
- Said, N. I., & Utomo, K. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Lumpur Aktif yang Diisi dengan Media *Bio-ball*. *Jurnal Air Indonesia*, 3(2). <https://doi.org/10.29122/jai.v3i2.2337>

- Sakti, A. B., & Rodiah, S. (2020). Penentuan Dosis Penggunaan Kapur ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) pada Penetralkan pH Air Minum di Instalasi Pengolahan Air Minum Ogan.. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* 594–598.
- Santoso, A. D. (2018). Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batubara Studi Kasus pada Danau Sangatta North PT. KPC di Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 89. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i1.2511>
- Sarwono, E., Azis, W. A., & Widarti, B. N. (2017). Pengaruh Variasi Waktu Tinggal terhadap Kadar BOD, COD, dan TSS pada Pengolahan Lindi TPA Bukit Pinang Samarinda Menggunakan Sistem Aerasi Bertingkat dan Sedimentasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(2), 20–26.
- Setiyono. (2018). Teknologi Pengolahan Limbah Cair dan Daur Ulang Air Limbah. *Prosiding Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan*, 89–98.
- Siregar, Sakti. A. (2005). *Instalasi Pengolahan Air Limbah Yogyakarta* (1 ed., Vol. 1). Kanisius, Yogyakarta.
- Tamyiz, M. (2015). Perbandingan Rasio BOD5/COD pada Area Tambak di Hulu dan Hilir terhadap Biodegradabilitas Bahan Organik. *Journal of Research and Technology*, 1(1), 8–15.
- Wardhani, D. R., Noriyati, R. D., & Soehartanto, T. (2013). Implementasi Estimator Kecepatan Pertumbuhan Mikroorganisme pada Bioreaktor Anaerob. *Jurnal Teknik ITS*, 2(1), 159–164.
- Yuniarti, D. P., Komala, R., & Aziz, S. (2019). Pengaruh Proses Aerasi terhadap Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit di Ptpn Vii Secara Aerobik. *Jurnal Redoks*, 4(2), 8–16.
- Yusuf, A. S. A., & Panca, N. F. (2019). Pengaruh Penambahan NPK dalam Pendegradasian Limbah Cair Kelapa Sawit Menggunakan Biofiltrasi Anaerob dengan Reaktor Fixed-Bed. *Indonesian Journal of Chemical Sciences*, 8(3), 192–196.