

Evaluasi Kinerja IPAL Individual SANFAB ST 600 dengan Penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* terhadap *Outlet* IPAL Domestik di Dusun Karangmojo, Boyolali

Joko Waluyo^{a*}, Paryanto^a, Margono^a, Sofiana Mukti Wigati^a, Shafira Rachmadhani^a,
Ibnu Singgih Pranoto^b, Yulinar Pramesti Cahyani^b

^aProgram Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia 57126

^bPT. Biosan Mandiri, Karanganyar, Indonesia 57175

*Corresponding author: jokowaluyo@staff.uns.ac.id

DOI: <https://dx.doi.org/10.20961/equilibrium.v6i1.61498>

Article History

Received: 27-05-2022, Accepted: 22-07-2022, Published: 01-08-2022

Kata kunci:

anaerobic granule bacteria, efisiensi, limbah domestik, IPAL ST 600

ABSTRAK. Kabupaten Boyolali memiliki jumlah penduduk tertinggi kedua di eks-Karesidenan Surakarta sehingga limbah cair domestik yang dihasilkan juga tinggi. Hal ini mendorong upaya pengelolaan limbah domestik menggunakan SANFAB ST 600, yaitu IPAL domestik yang terbuat dari LDPE untuk mengolah air limbah rumah tangga dengan kapasitas 600 L (1-4 orang). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas kinerja IPAL Individual SANFAB ST 600 setelah diberi perlakuan dengan *Anaerobic Granule Bacteria*. Air limbah rumah tangga yang dialirkan ke *inlet* ST akan menuju ke *settler*, selanjutnya mengalir secara *upstream* dalam unit *Anaerobic Filter* dan terjadi penguraian zat pencemar oleh bakteri anaerobik. Pengambilan sampel dilakukan pada dua rumah di Dusun Karangmojo, Kabupaten Boyolali. Sampel diuji di BLKK Yogyakarta untuk parameter TSS, COD, BOD, konsentrasi Amonia, pH, dan ORP. Pada minggu ketiga di Rumah Bapak Wahyudi, karakteristik *outlet* ST memiliki nilai TSS 25,5 mg/L, Amonia 0,255 mg/L, BOD 25,01 mg/L, dan COD 47,92 mg/L sehingga sudah sesuai baku mutu. Dari hasil uji dilakukan perhitungan efektivitas pengolahan TSS, BOD, dan COD dengan cara menghitung selisih konstanta *inlet* dan *outlet* dibagi dengan konstanta *inlet* serta perhitungan rasio BOD/COD dengan membagi kadar COD dan BOD setiap sampel. Dari sumber limbah WC dan kamar mandi (Rumah Bapak Wahyudi) bakteri bekerja lebih efektif dibanding sumber limbah WC (Rumah Bapak Somowirejo) dengan efisiensi lebih dari 80% pada minggu ketiga penambahan bakteri.

Keywords:

anaerobic granule bacteria, efficiency, domestic wastewater, IPAL ST 600

ABSTRACT. Boyolali Regency has the second highest population in the residence of Surakarta so the domestic wastewater generation is also high. This led to the management of domestic wastewater using SANFAB ST 600, which is a domestic WWTP made of LDPE to treat household wastewater with a capacity of 600 L (1-4 people). This study aims to determine the effectiveness of Individual WWTP SANFAB ST 600 after being treated with *Anaerobic Granule Bacteria*. Domestic wastewater that flows into the ST inlet will go to the settler, then flows upstream into the *Anaerobic Filter* unit and decomposed by anaerobic bacteria. Sampling was carried out at two houses in Karangmojo, Boyolali Regency. Samples were tested at BLKK Yogyakarta for parameters of TSS, COD, BOD, Ammonia concentration, pH, and ORP. In the third week at Wahyudi's house, the characteristics of the ST outlet had a value of TSS 25.5 mg/L, Ammonia 0.255 mg/L, BOD 25.01 mg/L, and COD 47.92 mg/L so it already suitable with the standard. From the test results, the effectiveness of TSS, BOD, and COD reduction is calculated by the difference between the inlet and outlet constants divided by the inlet constant and also calculating the BOD/COD ratio by dividing the COD and BOD levels of each sample. From the source of WC and bathroom waste (Mr. Wahyudi's House) the bacteria worked more effectively than the WC source (Mr. Somowirejo's House) with an efficiency of more than 80% in the third week after bacteria addition.

1. PENDAHULUAN

Manusia melakukan banyak kegiatan dalam kehidupan sehari-hari yang dapat berpengaruh terhadap lingkungan. Beberapa contoh kegiatan yang memiliki dampak secara langsung pada lingkungan adalah kegiatan di toilet dan kamar mandi, seperti buang air kecil, mandi, dan buang air besar. Kegiatan-kegiatan tersebut menghasilkan limbah yang dibuang langsung pada lingkungan sekitar yang disebut dengan limbah domestik. Ada dua jenis limbah cair domestik, yaitu limbah *black water* dan limbah *grey water*. *Black water* berasal dari urine dan tinja manusia yang memerlukan adanya pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan, umumnya ditampung ke

dalam *septic tank*. Air limbah *grey water* salah satunya berasal dari sisa air mandi dan cuci yang biasanya dibuang ke saluran drainase [1]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan [2], sebanyak 33,3% limbah cair domestik umumnya berasal dari toilet, 33,3% dari aktivitas mandi, dan sisanya berasal dari aktivitas mencuci pakaian dan aktivitas di dapur. Air limbah domestik yang berasal dari 60-80% air bersih dapat menjadi polutan terbesar yang masuk ke perairan dan dibuang ke lingkungan dalam bentuk limbah [3].

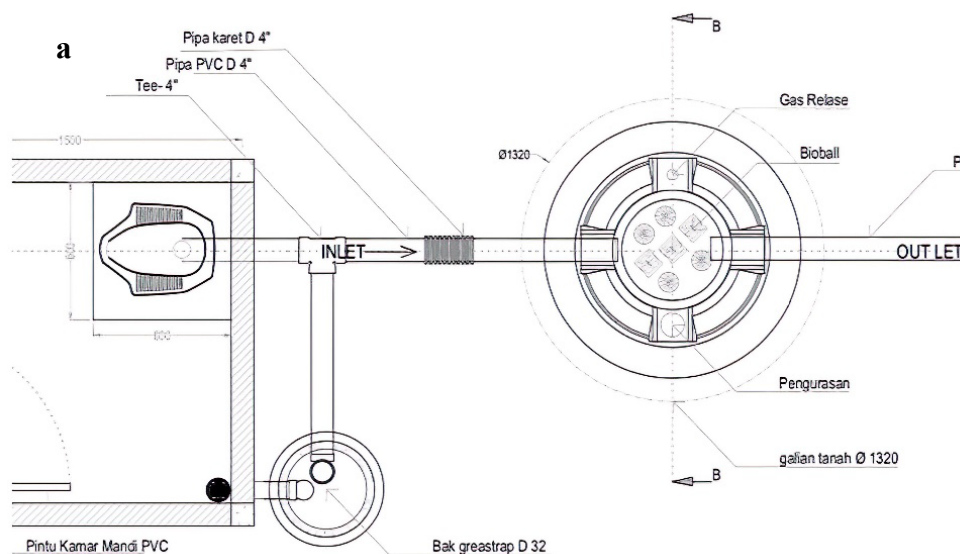
Berdasarkan data dari [4], penduduk Kabupaten Boyolali pada tahun 2020 memiliki jumlah sebesar 1.062.713 jiwa atau terbesar kedua di eks-Karesidenan Surakarta. Tingginya pertumbuhan jumlah penduduk di Kabupaten Boyolali berbanding lurus dengan limbah cair domestik yang dihasilkan sehingga perlu pengelolaan limbah domestik. Oleh karena itu, hal ini menjadi dasar dalam menentukan lokasi penelitian yaitu di Dusun Karangmojo, Boyolali untuk membangun kesadaran masyarakat akan pentingnya pemasangan instalasi pengelolaan air limbah rumah tangga agar tidak berdampak buruk pada lingkungan. Ketika air limbah sisa kegiatan di kamar mandi dan WC langsung dialirkan ke tanah atau sungai, akan terjadi pencemaran air dan menimbulkan penyakit bagi manusia. Cara mengatasi dan mencegah permasalahan tersebut dengan melakukan pengelolaan yang sistematis terhadap limbah domestik kamar mandi dan WC untuk mengurangi kadar polutan pada air limbah dan memenuhi nilai baku mutu yang tercantum [5]. Sistem pengelolaan *outlet* dari IPAL merupakan cara yang terjangkau bagi masyarakat untuk menjaga kesehatan dan mengelola air limbah di permukiman [6].

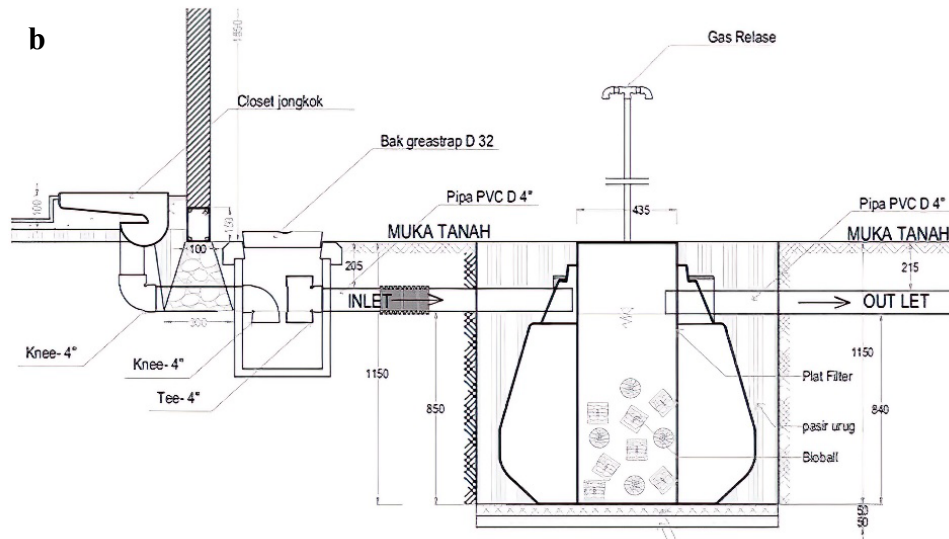
Salah satu metode pengelolaan limbah cair domestik yang berasal dari kamar mandi dan WC adalah menggunakan IPAL Individual SANFAB ST 600 seperti yang telah dipasang di dua rumah warga Dusun Karangmojo, Kabupaten Boyolali. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja IPAL dengan mengetahui perkembangan kualitas *outlet* IPAL Individual SANFAB ST 600 dan efektivitas kinerja IPAL Individual SANFAB ST 600 dengan penambahan *Anaerobic Granule Bacteria*. Keberhasilan dari penelitian ini akan memberikan bukti konkret bahwa pengelolaan air limbah domestik dari kamar mandi dan WC penting untuk dilakukan oleh setiap rumah tangga.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain IPAL Individual (*septic tank*) SANFAB-PE 600 L, gelas beaker, pH meter, alat penguras *sludge*, jerigen 2 L, *ice box*, corong, dan ember. Bahan yang diperlukan adalah *Anaerobic Granule Bacteria* (terdiri dari *Actinomyces sp.*, *Bifidobacterium sp.*, *Clostridium sp.*, *Propionibacterium sp.*, *Peptostreptococcus sp.*, dan lain-lain) serta sampel air limbah domestik sebagai sampel uji yang diperoleh dari *inlet* dan *outlet* ST 600 Bapak Wahyudi (air limbah dari kamar mandi dan WC dengan pengguna 3 orang) dan Bapak Somowirejo (air limbah dari WC dengan pengguna 2 orang) di Dusun Karangmojo, Boyolali. Selain itu, diperlukan juga sarung tangan lateks, masker, kertas tisu, *aquadest*, es batu, dan korek api.





Gambar 1. Sistem IPAL Individual ST *SANFAB-PE* 600 L: (a) Tampak atas, (b) Tampak samping

2.2 Metode Pengolahan Air Limbah Domestik

Penampungan dan pengolahan air limbah domestik dilakukan dengan menggunakan IPAL individual (*septic tank*) yang diperoleh dari PT Biosan Mandiri dan diproduksi oleh PT SUSTI Sarana Mandiri. Pengolahan air limbah domestik dilakukan agar kualitas air limbah yang dibuang ke lingkungan dapat memenuhi baku mutu air limbah domestik yang berlaku. ST 600 memiliki volume 600 L, tinggi 1,15 m, dan tebal 4-5 mm serta didalamnya dilengkapi dengan *bioball* sebagai media filter yang berukuran 90 mm per buah yang terbuat dari *High-Density Polyethylene* (HDPE). Kapasitas yang dimiliki oleh ST ini ditujukan untuk rumah yang berisi 1-4 orang dengan rata-rata per hari dihasilkan 60 L air limbah oleh setiap individu sehingga diperkirakan setiap harinya dapat ditampung sebanyak 240 L air limbah domestik. Sistem pengolahan dalam alat ini menggunakan kondisi anaerobik dengan bantuan *Anaerobic Granule Bacteria* yang dikembangkan sendiri oleh PT Biosan Mandiri.

Air limbah domestik yang dihasilkan dari rumah dihubungkan oleh pipa ke IPAL ST 600. Air limbah yang memiliki kandungan minyak yang cukup tinggi akan dialirkan ke perangkat minyak (*grease trap*) untuk memisahkan minyak dari air. Selanjutnya, air limbah dari perangkat minyak dialirkan memasuki *inlet*. Air limbah yang hanya bersumber dari kegiatan BAB dan BAK (WC) akan langsung disalurkan menuju *inlet*. Setelah melalui *inlet*, air limbah kemudian masuk ke dalam area *septic tank* sehingga komposisinya menyatu. Sebelum air limbah masuk ke dalam filter anaerob, air limbah domestik terlebih dahulu masuk ke dalam bak *settler*. Pada *settler* zat-zat pencemar yang terkandung dalam air limbah domestik akan mengalami pengendapan dan stabilisasi melalui proses anaerobik [7]. *Hydraulic Residence Time* (HRT) rata-rata di dalam *settler* ini sekitar 31,9 jam. Selanjutnya, air limbah akan mengalir secara *upflow* menuju *Anaerobic Filter*. Pengolahan zat-zat pencemar dan padatan terlarut yang sebelumnya tidak terendapkan pada *settler* akan dilanjutkan oleh bakteri anaerobik yang melekat pada media filter [8]. HRT rata-rata pada AF adalah sekitar 17,1 jam. Bakteri anaerobik yang melekat pada media filter ini, akan tumbuh dan membentuk lapisan lendir pada permukaan media filter. Hal ini akan membantu memperluas bidang kontak antara air limbah dan bakteri. Selanjutnya air limbah dialirkan ke *outlet* sebagai hasil akhir dari pengolahan air limbah domestik.

2.3 Pengambilan Sampel dan Penambahan Bakteri

Pengambilan sampel *inlet* dilakukan dengan menggunakan alat penguras *sludge* melalui pipa pengurasan. Sampel diambil lalu diletakkan di gelas beaker untuk pengukuran parameter pH dan ORP di lokasi *sampling* dan juga disimpan dalam jerigen untuk pengujian parameter BOD, COD, TSS, pH, dan amonia di BLKK Yogyakarta. Penambahan bakteri *granule* dilakukan setelah pengambilan sampel *outlet* dan *inlet* pada minggu pertama (t_0). Mula-mula, timbang bakteri *granule* sebanyak 50 gram. Pemberian bakteri sebanyak 50 gram pada setiap ST 600 didasarkan oleh ketentuan untuk setiap 3 m³ limbah domestik dibutuhkan 250 gram *Anaerobic Granule Bacteria*, sehingga pada ST 600 yang berkapasitas 600 L atau setara 0,6 m³ dibutuhkan 50 gram bakteri. Bakteri kemudian

dimasukkan ke dalam botol berukuran 600 mL dan ditambahkan air secukupnya. Penambahan air pada bakteri bertujuan untuk membuat bakteri dalam kondisi lembab. Kemudian, campuran *Anaerobic Granule Bacteria* dan air dituang ke dalam lubang kloset atau melalui lubang pengurasan ST 600. Pada penelitian ini, penambahan bakteri dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel *inlet*. Dalam pengambilan sampel *outlet*, digunakan gelas beaker serta sarung tangan lateks. Sampel yang berada di dalam gelas beaker kemudian dilakukan pengukuran parameter pH dan ORP di lapangan dan juga disimpan dalam jerigen untuk pengukuran parameter BOD, COD, TSS, pH, dan Amonia di BLKK Yogyakarta.

2.4 Perhitungan dan Analisis Hasil

Hasil pengujian sampel dari Balai Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Yogyakarta kemudian disusun tabel untuk hasil uji sampel *inlet* dan *outlet* serta diamati berdasarkan baku mutu air limbah domestik. Analisis evaluasi kerja *septic tank* individual didasarkan pada nilai parameter terukur yang dibandingkan dengan nilai baku mutu, baik secara kuantitatif maupun deskriptif sehingga dapat diketahui tingkat efisiensi kerja dari *septic tank* individual tersebut [5].

Selanjutnya, dari data pengujian laboratorium dilakukan perhitungan % efisiensi kerja IPAL (*septic tank*) individual dari setiap parameter hasil uji laboratorium menggunakan persamaan yang digunakan dalam [9] mengacu pada persamaan umum [10], sebagai berikut:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

S_0 = konstanta *inlet* berdasarkan data yang diambil pada t_0

S = konstanta *outlet* berdasarkan data yang diambil pada t_0 sampai t_2

Data *inlet* pada rumah Bapak Wahyudi didasarkan pada sampel yang diambil tanggal 1 Desember 2021 (t_0), sedangkan data *inlet* pada rumah Bapak Somowirejo didasarkan pada sampel yang diambil pada 2 September 2021. Data ini diasumsikan memiliki nilai yang konstan atau memiliki sedikit perbedaan. Hal ini didasarkan pada perkiraan jumlah pemasok limbah yang sama maka karakteristik yang ditunjukkan limbah juga akan sama.

Kemudian, hasil perhitungan efisiensi dilakukan klasifikasi hasil dengan acuan pengelompokan seperti dibawah ini:

Sangat efisien = $x > 80\%$

Efisien = $60\% < x \leq 80\%$

Cukup efisien = $40\% < x \leq 60\%$

Kurang efisien = $20\% < x \leq 40\%$

Tidak efisien = $x \leq 20\%$

Setelah itu, dilakukan perhitungan rasio BOD/COD setiap hasil uji sampel. Rasio BOD/COD merupakan indeks derajat degradasi dari suatu limbah. Terdapat 3 zona degradabilitas suatu limbah, yaitu *biodegradable*, *slow biodegradable* (*biodegradable* dengan *treatment*), dan *non-biodegradable* [11]. Suatu limbah akan memiliki tingkat degradasi yang semakin tinggi ketika rasio BOD/COD semakin besar. Rasio BOD/COD bernilai $< 0,3$ bersifat *non-biodegradable*, $0,3-0,6$ *biodegradable* tetapi memerlukan *treatment*, dan $> 0,6$ *biodegradable* [11]. Rasio BOD/COD dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Rasio} = \text{BOD}_5/\text{COD} \quad (2)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Visual Outlet Air Limbah Domestik

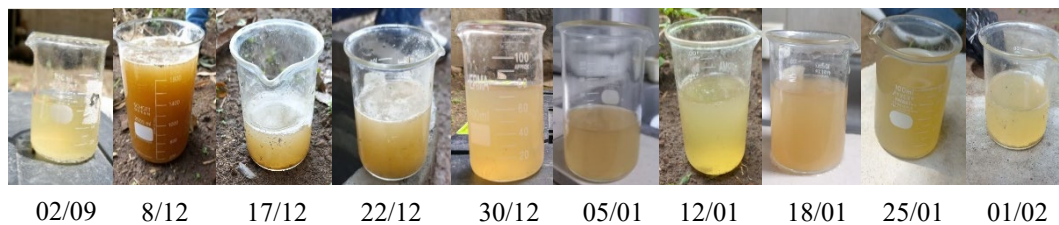
Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi kinerja IPAL Individual SANFAB-PE 600 L yang telah dipasang di rumah Bapak Wahyudi dan Bapak Somowirejo, Boyolali, Jawa Tengah. Sistem pada IPAL ini meneruskan saluran buangan air limbah berupa *grey* dan *black water* menuju *outlet* di rumah Bapak Wahyudi dan berupa *black water* di rumah Bapak Somowirejo.



Gambar 2. Visual outlet ST 600 air limbah domestik rumah Bapak Wahyudi

Tabel 1. Kondisi visual air limbah domestik rumah Bapak Wahyudi

Tanggal	Keterangan
01/12/2021	Air limbah berwarna coklat kemerahan
08/12/2021	Air limbah lebih encer dan berwarna kuning pekat
17/12/2021	Air limbah berwarna kuning bening
22/12/2021	Air limbah berwarna jernih



Gambar 3. Visual outlet ST 600 air limbah domestik rumah Bapak Somowirejo

Tabel 2. Kondisi visual air limbah domestik rumah Bapak Somowirejo

Tanggal	Keterangan
02/09/2021	Air limbah berwarna kekuningan
08/12/2021	Air limbah berwarna kecoklatan
17/12/2021	Air limbah berwarna kekuningan
22/12/2021	Air limbah berwarna kekuningan
30/12/2021	Air limbah berwarna kekuningan dan lebih kental
05/01/2022	Air limbah berwarna kekuningan
12/01/2022	Air limbah berwarna kekuningan
18/01/2022	Air limbah berwarna kuning kecoklatan
25/01/2022	Air limbah berwarna kuning kecoklatan
01/02/2022	Air limbah berwarna kuning jernih

3.2 Parameter Total Padatan Tersuspensi (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) adalah bahan padat yang tersuspensi, contohnya seperti logam berat, lumpur tanah, dan pasir yang disebabkan oleh erosi tanah yang terbawa ke perairan [12]. Parameter TSS berhubungan dengan parameter kekeruhan (NTU). Ketika air limbah semakin keruh, maka nilai TSS air limbah tersebut akan semakin tinggi [13]. Pada air limbah domestik, baku mutu TSS yang ditetapkan [5] maksimal adalah 30 mg/L. Jika nilainya di atas baku mutu, maka air limbah domestik belum layak untuk dialirkan ke lingkungan.

Tabel 3. Data hasil uji TSS di ST rumah Bapak Wahyudi

Tanggal	TSS (mg/L)	% Penurunan terhadap <i>inlet</i>	Keterangan
01/12/2021	1040	-	<i>Inlet</i>
01/12/2021	376	64%	<i>Outlet</i>
08/12/2021	108	89,62%	<i>Outlet</i>
22/12/2021	25,5	97,55%	<i>Outlet</i>

Berdasarkan tabel di atas, konsentrasi TSS *inlet* dan *outlet* ST di rumah Bapak Wahyudi menurun seiring berjalannya waktu. Hal ini menunjukkan bahwa ST 600 bekerja sangat baik dengan *Anaerobic Granule Bacteria*. Konsentrasi TSS pada tanggal 1 hingga 8 Desember 2021 belum memenuhi baku mutu air limbah domestik (>30 mg/L). Namun, pada tanggal 22 Desember 2021 kondisi *outlet* air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi memiliki nilai konsentrasi 25,5 mg/L, artinya sudah memenuhi baku mutu air limbah domestik yang telah ditetapkan dan aman jika dibuang ke lingkungan.

Tabel 4. Data hasil uji TSS di ST rumah Bapak Somowirejo

Tanggal	TSS (mg/L)	% Penurunan terhadap <i>inlet</i>	Keterangan
02/09/2021	328	-	<i>Inlet</i>
02/09/2021	128	61%	<i>Outlet</i>
08/12/2021	118	64,02%	<i>Outlet</i>
22/12/2021	270	17,68%	<i>Outlet</i>

Berdasarkan tabel di atas, konsentrasi TSS *outlet* dan *inlet* ST di rumah Bapak Somowirejo menurun dari hari pertama penambahan bakteri hingga 08 Desember 2021. Hal ini menunjukkan kemajuan proses bahwa ST 600 bekerja secara baik dengan penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* sebagai pengurai limbah. Namun, pada tanggal 22 Desember 2021, konsentrasi TSS kembali naik. Konsentrasi TSS pada tanggal 2 September 2021 hingga 22 Desember 2021 memiliki nilai >30 mg/L. Air buangan *outlet* tersebut belum memenuhi baku mutu air limbah domestik yang telah ditetapkan dan belum aman jika dibuang ke lingkungan. Terjadinya kenaikan nilai TSS pada tanggal 22 Desember 2021 disebabkan karena tingginya konsentrasi bahan organik yang disertai dengan kurang derasny atau terlalu derasny pengaliran air saat kegiatan BAB atau BAK dari WC sehingga air limbah yang belum mengalami pengolahan dapat mengalir menuju *outlet* yang menyebabkan nilai padatan yang tersuspensi naik [14].

3.3 Parameter Amonia

Menurut [5], baku mutu amonia untuk air limbah domestik memiliki kadar maksimum 10 mg/L. Kinerja IPAL dalam menurunkan kadar amonia dipengaruhi oleh faktor debit aliran air limbah, waktu tinggal, pH, dan suhu. Semakin tinggi pH dan semakin rendah suhu lingkungan menyebabkan kadar amonia semakin meningkat. Menurut data uji laboratorium dari air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi dan Bapak Somowirejo dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 5. Kadar amonia dalam air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi

Tanggal	Amonia (mg/L)	% Penurunan terhadap <i>inlet</i>	Keterangan
01/12/2021	2,11	-	<i>Inlet</i>
01/12/2021	2,05	3%	<i>Outlet</i>
08/12/2021	0,242	88,53%	<i>Outlet</i>
22/12/2021	0,255	87,91%	<i>Outlet</i>

Tabel 6. Kadar amonia dalam air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo

Tanggal	Amonia (mg/L)	% Penurunan terhadap <i>inlet</i>	Keterangan
02/09/2021	0,56	-	<i>Inlet</i>
02/09/2021	1,31	-134%	<i>Outlet</i>
08/12/2021	0,654	-16,79%	<i>Outlet</i>
22/12/2021	1,455	-159,82%	<i>Outlet</i>

Berdasarkan data di atas, kadar amonia dalam air limbah domestik di Rumah Bapak Wahyudi dan Bapak Somowirejo tidak pernah melewati kadar maksimum baku mutu dari [5]. Kadar amonia pada air limbah di rumah Bapak Somowirejo cenderung lebih fluktuatif dibandingkan dengan air limbah di rumah Bapak Wahyudi. Hal ini disebabkan oleh komposisi air limbah di rumah Bapak Somowirejo hanya terdiri dari *black water*. Limbah *black water* ini diketahui hanya berasal dari air buangan kloset yang terdiri dari tinja, air seni, dan air yang digunakan untuk menyiram kloset. Menurut [15], amonia dalam air permukaan bersumber dari tinja, urine, dan oksidasi zat organik yang dihasilkan dari air alam atau buangan industri dan penduduk. Hal ini menjelaskan bagaimana kondisi sumber air limbah sangat berpengaruh terhadap kadar amonia pada hasil akhir pengolahan air limbah di rumah Bapak Somowirejo. Semakin banyak kuantitas dan intensitas BAB dan BAK dapat menjadi penyebab utama kenaikan kadar amonia pada *outlet*.

3.4 Parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Baku mutu air limbah domestik untuk parameter BOD berdasarkan [5], memiliki kadar maksimum sebesar 30 mg/L. Hasil dari uji laboratorium untuk air limbah domestik untuk nilai BOD didapatkan sebagai berikut :

Tabel 7. Kadar BOD dalam air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi

Tanggal	BOD (mg/L)	% Penurunan terhadap <i>inlet</i>	Keterangan
01/12/2021	290,35	-	<i>Inlet</i>
01/12/2021	253,99	13%	<i>Outlet</i>
08/12/2021	72,08	75,17%	<i>Outlet</i>
22/12/2021	25,01	91,39%	<i>Outlet</i>

Tabel 8. Kadar BOD dalam air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo

Tanggal	BOD (mg/L)	% Penurunan terhadap <i>inlet</i>	Keterangan
02/09/2021	320,93	-	<i>Inlet</i>
02/09/2021	199,33	38%	<i>Outlet</i>
08/12/2021	97,65	69,57%	<i>Outlet</i>
22/12/2021	160,95	49,85%	<i>Outlet</i>

Kadar BOD pada *outlet* di rumah Bapak Wahyudi pada hari pertama sebelum diberikan penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* masih melebihi baku mutu dan belum memberikan penurunan yang signifikan terhadap kadar BOD pada *inlet*. Satu minggu setelah penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* pada tanggal 1 Desember 2021 pukul 19.00 WIB, kadar BOD sudah mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan dengan *inlet*. Dalam waktu tiga minggu, kadar BOD pada *outlet* telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Oleh karena itu, dapat diketahui pengolahan air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi berlangsung secara efektif dan memperlihatkan hasil yang maksimal pada minggu ke-4.

Untuk kadar BOD pada air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo dapat dilihat bahwa pada hari pertama, *outlet* masih belum memenuhi baku mutu. Namun, penurunan kadar BOD dari *inlet* ke *outlet* cukup signifikan. Setelah satu minggu penambahan *Anaerobic Granule Bacteria*, penurunan terhadap *inlet* naik signifikan tetapi masih belum memenuhi baku mutu. Namun, pada tanggal 22 Desember 2021 kadar BOD mengalami peningkatan yang dapat disebabkan karena meningkatnya intensitas kegiatan BAB dan BAK atau kurangnya pengenceran melalui pengaliran air pada saat melakukan kegiatan tersebut. Hal ini menyebabkan terjadinya penambahan beban pengolahan pada IPAL di Rumah Bapak Somowirejo. Terjadinya permasalahan yang sama juga dijelaskan pada penelitian [16] di Kali Surabaya untuk menguji BOD dan COD di 12 titik badan Kali Surabaya. Pada titik ke-3, 7, 9, dan 12 nilai BOD mengalami peningkatan yang disebabkan karena penambahan limbah di badan sungai tersebut. Pada titik yang lain, nilai BOD cenderung menurun karena terdapat penambahan anak sungai sehingga terjadi pengenceran.

3.5 Parameter Chemical Oxygen Demand (COD)

Untuk air limbah domestik, menurut [5] baku mutu parameter COD memiliki kadar maksimum sebesar 100 mg/L. Hasil yang didapatkan untuk uji kadar COD pada air limbah domestik sebagai berikut :

Tabel 9. Kadar COD dalam air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi

Tanggal	COD (mg/L)	% Penurunan terhadap <i>inlet</i>	Keterangan
01/12/2021	830,72	-	<i>Inlet</i>
01/12/2021	732,16	12%	<i>Outlet</i>
08/12/2021	87,05	89,52%	<i>Outlet</i>
22/12/2021	47,92	94,23%	<i>Outlet</i>

Tabel 10. Kadar COD dalam air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo

Tanggal	COD (mg/L)	% Penurunan terhadap <i>inlet</i>	Keterangan
02/09/2021	767,52	-	<i>Inlet</i>
02/09/2021	436,80	43%	<i>Outlet</i>
08/12/2021	209,66	72,68%	<i>Outlet</i>
22/12/2021	509,95	33,56%	<i>Outlet</i>

Dari tabel 9 dan 10, dapat diketahui kadar COD pada air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi mengalami penurunan yang berkelanjutan dari 830,72 hingga 47,92 mg/L. Penurunan nilai COD ini identik dengan penurunan nilai BOD sebelumnya, yaitu mulai terjadi setelah satu minggu penambahan *Anaerobic Granule Bacteria*. Pada tanggal 22 Desember 2021, kadar COD pada air limbah di rumah Bapak Wahyudi telah memenuhi baku mutu. Sementara itu, untuk kadar COD pada air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo belum terpenuhi setelah tiga kali pengujian. Namun, penurunan nilai COD dapat dilihat cukup signifikan yaitu 767,52 sampai 209,66 setelah penambahan *Anaerobic Granule Bacteria*. Kemudian, pada tanggal 22 Desember 2021, terjadi kenaikan kadar COD. Hal ini dapat terjadi karena penambahan limbah melalui kegiatan di WC Rumah Bapak Somowirejo, seperti meningkatnya intensitas BAB dan bertambahnya pengguna WC. Kadar COD pada limbah yang tinggi berbanding lurus dengan zat pencemar yang semakin banyak [17].

3.6 Parameter ORP

Pada setiap sistem yang melangsungkan proses oksidasi, akan ada perubahan rasio antara material yang tereduksi dan teroksidasi. Potensial untuk mentransfer elektron dari oksidator ke reduktor ini terlihat dengan nilai ORP. Nilai ORP yang berada di kisaran -350 hingga -80 mV termasuk pada kondisi anaerobik [18, 19]. Selanjutnya, nilai ORP akan berada pada zona anoksik pada kisaran -100 hingga +100 mV [20]. Berdasarkan [21], pada kisaran nilai ORP 25 hingga 250 mV terjadi proses penghilangan fosfor secara biologis dikarenakan aktifnya bakteri pengakumulasi fosfor.

Tabel 11. Nilai ORP dalam air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi

Tanggal	ORP	Keterangan
01/12/2021	-250	<i>Outlet</i>
08/12/2021	-209	<i>Outlet</i>
17/12/2021	-367	<i>Outlet</i>
30/12/2021	-205	<i>Outlet</i>
05/01/2022	-210	<i>Outlet</i>
06/12/2022	-191	<i>Outlet</i>
12/01/2022	-255	<i>Outlet</i>
18/01/2022	-107	<i>Outlet</i>
25/01/2022	-210	<i>Outlet</i>
01/02/2022	-10	<i>Outlet</i>

Berdasarkan tabel 11, nilai ORP pada limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi berkisar dari -10 hingga -367 sehingga dapat diketahui pengolahan air limbah terjadi pada kondisi anoksik hingga anaerobik. Meskipun nilai ORP sudah melebihi -350 kondisi pengolahan masih terjadi pada keadaan anaerobik, tetapi akibat perombakan zat-zat pengotor limbah dan senyawa-senyawa organik yang berkelanjutan di dalam air limbah menyebabkan terbentuknya gas-gas seperti gas metana dalam jumlah yang kecil. Gas ini dapat keluar menuju lingkungan melalui pipa *gas release*. Data tabel 12, nilai ORP pada air limbah di rumah Bapak Somowirejo juga menunjukkan kondisi

pengolahan pada keadaan anoksik hingga anaerobik serta terjadi penghilangan fosfor secara biologis. Hal ini ditunjukkan dari rentang nilai ORP dari 147 hingga -300. Nilai ORP yang tinggi pada tanggal 8 Desember ini terjadi karena adanya penambahan kaporit sebelum pengambilan sampel.

Tabel 12. Nilai ORP dalam air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo

Tanggal	ORP	Keterangan
08/12/2021	147	Outlet
17/12/2021	-64	Outlet
30/12/2021	-292	Outlet
05/01/2022	-294	Outlet
12/01/2022	-300	Outlet
18/01/2022	-255	Outlet
25/01/2022	-221	Outlet
01/02/2022	-264	Outlet

3.7 Parameter pH

Nilai tingkat keasaman (pH) menggambarkan konsentrasi ion hidrogen dan sifat keasaman. Berdasarkan [5], saat ini berlaku parameter yang ditetapkan air limbah yang sesuai dengan baku mutu memiliki pH 6-9. Pada proses anaerobik tersebut, pH dikatakan optimal jika berada dalam rentang 6,8-7,4 [22]. Dari hasil pengecekan pH pada ST, didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 13. Data pH air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi

Tanggal	pH	Keterangan
01/12/2021	7,10	Inlet
01/12/2021	6,98	Outlet
08/12/2021	7,05	Outlet
17/12/2021	7,40	Outlet
22/12/2021	7,15	Outlet

Dari tabel 13, pH *inlet* ST 600 di rumah Bapak Wahyudi memiliki nilai sebesar 7,1. Artinya, sebelum melalui pengolahan lanjut secara anaerobik dan dialirkan ke *outlet*, nilai pH *inlet* sudah sesuai baku mutu [5]. Nilai pH *outlet* ST 600 di rumah Bapak Wahyudi seluruhnya juga sudah sesuai dengan baku mutu air limbah domestik. Nilai pH pada tanggal 17 Desember 2021 lebih tinggi dibandingkan dengan hari lainnya karena banyaknya zat-zat basa yang berasal dari sabun, sampo, dan deterjen masuk ke saluran pembuangan air limbah, tetapi masih dalam batas normal. Reaksi biologis juga dapat menyebabkan terjadinya kenaikan pH melalui aktivitas penguraian oleh mikroorganisme terhadap glukosa, urea, dan NH_4Cl [23]. Namun, berdasarkan *range* pH setelah proses anaerobik yang diamati pada tanggal 8 Desember 2021 hingga 22 Desember 2021, seluruh pH sudah sesuai dengan kondisi pH optimal yang digunakan pada proses anaerobik

Tabel 14. Data pH air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo

Tanggal	pH	Keterangan
02/09/2021	7,61	Inlet
02/09/2021	7,94	Outlet
08/12/2021	7,68	Outlet
17/12/2021	7,60	Outlet
22/12/2021	7,84	Outlet
30/12/2021	7,10	Outlet
05/01/2022	7,40	Outlet
12/01/2022	7,60	Outlet
18/01/2022	7,70	Outlet
25/01/2022	7,10	Outlet
01/02/2022	7,30	Outlet

Dari tabel 14, dapat dilihat bahwa pH *inlet* ST 600 di Rumah Bapak Somowirejo memiliki nilai sebesar 7,61. Artinya, sebelum melalui pengolahan, nilai pH *inlet* sudah sesuai dengan baku mutu [5]. Kemudian, nilai *outlet* ST 600 di Rumah Bapak Somowirejo, seluruhnya juga sudah sesuai baku mutu yang ditetapkan. Berdasarkan pengamatan pH pada proses anaerobik, didapatkan pH optimal pada tanggal 30 Desember 2021 - 5 Januari 2022 dan 25 Januari 2022 - 1 Februari 2022.

Pada tanggal 22 Desember 2021 didapatkan nilai pH tertinggi, bersamaan dengan naiknya kadar TSS, BOD, dan COD akibat bertambahnya limbah *black water* (tinja dan air seni). Berdasarkan pengaruhnya terhadap COD dan BOD, pH menjadi faktor penting aktivitas mikroorganisme dalam air [24]. Aktivitas *Anaerobic Granule Bacteria* akan mempengaruhi naik turunnya nilai COD dan BOD. Hal ini disebabkan karena pada pH 7,84, bakteri anaerobik kurang optimal untuk tumbuh dan berkembang biak akibat melebihi batas optimal pH yang dibutuhkan pada proses anaerobik. Oleh karena itu, perlu penambahan sumber limbah lain, seperti air mandi agar konsentrasi dan viskositas lebih rendah, sehingga bakteri dapat bekerja optimal.

3.8 Rasio Konsentrasi BOD Terhadap COD

Rasio BOD dan COD digunakan untuk mengetahui tingkat biodegradabilitas limbah. Tingkat degradabilitas berbanding lurus dengan nilai rasio BOD/COD pada limbah cair domestik. Rasio BOD/COD < 0,3 bersifat *non-biodegradable*; 0,3-0,6 *biodegradable* tetapi memerlukan *treatment*; > 0,6 *biodegradable*. Nilai rasio BOD dan COD dapat terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 15. Rasio BOD/COD air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi

Tanggal	Rasio BOD/COD	Keterangan
01/12/2021	0,349	<i>Inlet</i>
01/12/2021	0,347	<i>Outlet</i>
08/12/2021	0,828	<i>Outlet</i>
22/12/2021	0,522	<i>Outlet</i>

Tabel 15 merupakan rasio BOD/COD yang didapat dalam 21 hari. Rasio ini didapatkan melalui operasi pembagian nilai konsentrasi BOD dengan COD yang diperoleh dari hasil pengujian di Balai Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Yogyakarta. Dapat dilihat bahwa *inlet* dan *outlet* pada tanggal 1 Desember 2021 dan 8 Desember 2021 memiliki rasio sedang, yakni 0,3-0,6. Rasio BOD/COD tersebut dapat mendegradasi bahan-bahan pencemar melalui proses biologis, tetapi dekomposisinya berjalan lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi limbah. Pada tanggal 22 Desember 2021 memiliki nilai rasio > 0,6 yang menunjukkan tingkat degradasi atau penguraian oleh mikroorganisme yang cukup tinggi. Artinya, mikroorganisme bekerja maksimal pada H+21 setelah pemberian *Anaerobic Granule Bacteria*. Perbedaan-perbedaan yang terjadi pada nilai rasio BOD/COD dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang berperan serta di dalam ST, yaitu pH, suhu, dan DO (*Dissolved Oxygen*).

Tabel 16. Rasio BOD/COD air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo

Tanggal	Rasio BOD/COD	Keterangan
02/09/2021	0,418	<i>Inlet</i>
02/09/2021	0,456	<i>Outlet</i>
08/12/2021	0,466	<i>Outlet</i>
22/12/2021	0,316	<i>Outlet</i>

Tabel 16 merupakan rasio BOD/COD yang didapat dalam 111 hari. Dari tabel tersebut, dapat ditentukan rasio BOD/COD yang sesuai dengan teori di atas, yakni sekitar 0,3-0,6. Dapat dilihat bahwa *inlet* dan *outlet* pada seluruh pengujian di tanggal tersebut memiliki sifat *biodegradable* dengan penambahan *treatment*. Oleh karena itu, dari hasil tersebut dapat dilakukan proses biologis terhadap air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo, tetapi dekomposisinya berjalan lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi limbah.

3.9 Efektivitas Kinerja ST 600 dengan Bakteri Granule Terhadap Parameter Air Limbah Domestik

Tabel 17. Efisiensi parameter pada air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi

Parameter	Baku Mutu	Satuan	t_0	Outlet					
				t_0	% Efisiensi	t_1	% Efisiensi	t_2	% Efisiensi
pH	6-9	-	7,1	6,98	-	7,05	-	7,15	-
TSS	30	mg/L	1040	376	64%	108	89,62%	25,5	97,55%
COD	100	mg/L	830,72	732,16	12%	87,05	89,52%	47,92	94,23%
BOD ₅	30	mg/L	290,35	253,99	13%	72,08	75,17%	25,01	91,39%
Amonia	10	mg/L	2,11	2,05	3%	0,242	88,53%	0,255	87,91%

Tabel 18. Efisiensi parameter pada air limbah domestik di rumah Bapak Somowirejo

Parameter	Baku Mutu	Satuan	t_0	Outlet					
				t_0	% Efisiensi	t_1	% Efisiensi	t_2	% Efisiensi
pH	6-9	-	7,61	7,94	-	7,68	-	7,84	-
TSS	30	mg/L	328	128	61%	118	64,02%	270	17,68%
COD	100	mg/L	767,52	436,8	43%	209,66	72,68%	509,95	33,56%
BOD ₅	30	mg/L	320,93	199,33	38%	97,65	69,57%	160,95	49,85%
Amonia	10	mg/L	0,56	1,31	-134%	0,654	-16,79%	1,455	-159,82%

Dari tabel 17 dan tabel 18, dapat dilihat bahwa pengolahan limbah domestik menggunakan ST 600 di rumah Bapak Wahyudi lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan pengolahan limbah di rumah Bapak Somowirejo. Pada tabel 18, efisiensi amonia bernilai negatif karena terjadi kenaikan konsentrasi amonia dimana *outlet* pada t_0 , t_1 , t_2 memiliki nilai konsentrasi amonia yang lebih besar daripada *inlet*, yaitu sebesar 0,56 mg/L. Hal tersebut dapat terjadi karena asumsi nilai *inlet* pada t_0 tidak selalu sesuai dengan keadaan lapangan yang berubah-ubah dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti debit aliran air limbah, waktu tinggal, pH, dan suhu.

4. KESIMPULAN

Pengolahan air limbah domestik di rumah Bapak Wahyudi berlangsung sangat efisien (>80%), sedangkan di rumah Bapak Somowirejo nilai efisiensi jauh lebih rendah (49%) karena air limbah hanya bersumber dari WC sehingga beban organik limbah lebih tinggi. Pada tanggal 22 Desember 2021 (t_2), *outlet* ST di rumah Bapak Wahyudi seluruh parameternya sudah sesuai baku mutu. Sementara itu, pada rumah Bapak Somowirejo terjadi peningkatan nilai TSS, BOD, dan COD karena adanya penambahan beban pengolahan air limbah melalui kenaikan intensitas dan kuantitas BAB dan BAK. Selain itu, terjadi peningkatan pH menjadi 7,84 menyebabkan aktivitas *Anaerobic Granule Bacteria* kurang maksimal dalam mendegradasi limbah. Oleh karena itu, diperlukan penambahan sumber limbah lain (air mandi) untuk membantu pengenceran agar konsentrasi dan viskositas air limbah lebih rendah. Selain itu, dapat dilakukan penambahan bakteri untuk mengetahui besarnya pengaruh pada efisiensi pengolahan serta melakukan pencatatan penambahan limbah secara berkala agar keadaan tidak sesuai standar dapat diketahui dan dilakukan tindakan penyesuaian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Biosan Mandiri yang telah memberikan fasilitas dalam kegiatan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada LPPM UNS atas didanainya pengabdian ini melalui Hibah Grup Riset Pengabdian kepada Masyarakat tahun 2022 dengan nomor kontrak 255/UN27.22/PM.01.01/2022

PUSTAKA

- [1] L. K. Wulandari, "Model Fisik Pengolahan Limbah Blackwater Pada Septic Tank Komunal," (2019).
- [2] G. Austin, K. Yu, "Constructed Wetlands and Sustainable Development", (2016). <https://doi.org/10.4324/9781315694221>.
- [3] A.U.W. Astika, S. Sudarno, B. Zaman, "Kajian Kinerja Bak Settler, Anaerobic Baffled Reactor (ABR), Dan

- Anaerobic Filter (AF) Pada Tiga Tipe IPAL Di Semarang,” *J. Tek. Lingkungan*. 6 1–15 (2017).
- [4] BPS Kabupaten Boyolali, “Jumlah Penduduk Eks-Karesidenan Surakarta,” (2019).
- [5] Kementerian Lingkungan Hidup, “Permen LHK Baku Mutu Air Limbah Domestik No.68 Tahun 2016,” 1–13 (2016).
- [6] A. Arifudin, S. Setiyono, F.E. Priyanto, S. Sulistia, “Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Makanan,” *J. Air Indones*. 11 (2020). <https://doi.org/10.29122/jai.v11i1.3935>.
- [7] N.I. Said, “Teknologi Biofilter Anaerob-Aerob Untuk Pengolahan air Limbah Domestik (Perkantoran, Rumah Sakit, Hotel dan Domestik Industri),” *Prodising Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan*. 100 – 107 (2018).
- [8] Ari Apriyana, Paikun, Bambang Jatmika, “ANALISIS DAYA TAMPUNG SEPTIC TANK TYPE KOMUNAL DI KELURAHAN TEGAL GUNDIL KOTA BOGOR (Capacity Analysis Of Communal Septic Tank In Tegal Gundil, Bogor City),” *J. Teslink Tek. Sipil Dan Lingkungan*. 1 50–62 (2019).
- [9] D.S. Lestari, “Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (Studi Kasus: IPAL Domestik Waduk ‘X’, Jakarta),” *J. Sumber Daya Air*. 16 91–102 (2020). <https://doi.org/10.32679/jsda.v16i2.653>.
- [10] Metcalf, Eddy, “Wastewater Engineering: Treatment and Reuse Fourth Edition,” *Chem. Eng*. 1819 (2003).
- [11] Y.M. Yustiani, L. Mulyatna, A. Anggadinata, “Studi Identifikasi Kualitas Air dan Kapasitas Biodegradasi Sungai Cibalgio,” *INFOMATEK J. Inform. Manaj. Dan Teknol*. 22 23–30 (2020). <http://dx.doi.org/10.23969/infomatek.v22i1.2860>.
- [12] N. Fathiyah, T.G. Pin, R. Saraswati, “Pola Spasial dan Temporal Total Suspended Solid (TSS) dengan Citra SPOT di Estuari Cimandiri , Jawa Barat,” *Ind. Res. Work. Natl. Semin*. 518–526 (2017). <https://jurnal.polban.ac.id/index.php/proceeding/article/view/600/455>.
- [13] W. Winnarsih, E. Emiyarti, L.O.A. Afu, “Distribusi Total Suspended Solid Permukaan di Perairan Teluk Kendari,” *J. Sapa Laut*. 1 54–59 (2016).
- [14] N. Khairunna, S. Agustina, I. Setiawan, M. Ramadhaniaty, R. Sakinah, S. Keumala, K. Ondara, “Status Kualitas Perairan Utara Aceh Ditinjau dari Konsentrasi TSS, BOD5, dan DO,” *J. Kelaut. Dan Perikan. Indones*. 1 135–144 (2021). <https://doi.org/10.12340/jkpi.v1i3.24307>.
- [15] I. Nuraini, H. Darpito, “Pengaruh Pembubuhan Kaporit Terhadap Parameter pH dan Amonia Effluent Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit,” *J. TechLINK*. 2 8–16 (2018).
- [16] M. Rasich, N. Adis, “Analisis Distribusi Pencemaran Biological Oxygen Demand (BOD) dan Dissolved Oxygen (DO) dengan Metode Geographic Information System (GIS) dan Streeter Phelps di Sepanjang Kali Surabaya,” *J. Ilmiah Teknik Lingkungan*. 13 (2021). <https://doi.org/10.33005/envirotek.v13i2.108>.
- [17] R. Nilam Sari, Z. Hadi, A. Fauzan, “Efektivitas Sistem Pengolahan Air Limbah Pada IPAL HKSNI di Perusahaan Daerah Pengelola Air Limbah Kota Banjarmasin,” *Kesehat. Masy*. 1–10 (2020).
- [18] R.M. Panizio, L.F. do C. Calado, G. Lourinho, P.S.D. de Brito, J.B. Mees, “Potential of Biogas Production in Anaerobic Co-digestion of Opuntia ficus-indica and Slaughterhouse Wastes,” *Waste and Biomass Valorization*. 11 4639–4647 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00835-2>.
- [19] M. Wu, J. Liu, B. Gao, M. Sillanpää, “Phosphate Substances Transformation and Vivianite Formation in P-Fe Containing Sludge during The Transition Process of Aerobic and Anaerobic Conditions,” *Bioresour. Technol*. 319 124259 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124259>.
- [20] N.‘Izzati Ismail, S.R.S. Abdullah, M. Idris, H.A. Hasan, M.I.E. Halmi, N.H. Al Sbani, O.H. Jehawi, “Simultaneous Bioaccumulation and Translocation of Iron and Aluminium from Mining Wastewater by Scirpus grossus,” *Desalin. Water Treat*. 163 133–142 (2019). <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24201>.
- [21] S. Moazzem, H. Ravishankar, L. Fan, F. Roddick, V. Jegatheesan, “Application of Enhanced Membrane Bioreactor (eMBR) for The Reuse of Carwash Wastewater,” *J. Environ. Manage*. 254 109780 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109780>.
- [22] A. Cerón-Vivas, K.T. Cáceres, A. Rincón, A. Cajigas, “Influence of pH and the C/N Ratio on The Biogas Production of Wastewater,” *Rev. Fac. Ing*. 88–95 (2019). <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20190627>.
- [23] A. Agustina, I.E. Suprihatin, J. Sibarani, “Pengaruh Biofilm Terhadap Efektivitas Penurunan BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak dari Limbah Pengolahan Ikan Menggunakan Trickling Filter,” *Cakra Kim*. 4 137–145 (2017). <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/article/view/28931>.
- [24] R.R. Ardhini, “Oxidation Ditch Alga Reactor dalam Pengolahan Zat Organik Limbah Grey Water,” (2018).