

**EFEKTIVITAS KEBUTUHAN ANAEROBIC GRANULE BACTERIA
TERHADAP PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK PADA PENGGUNAAN IPAL
INDIVIDUAL SANFAB ST600 DI DESA BENDO, KECAMATAN NOGOSARI,
KABUPATEN BOYOLALI, JAWA TENGAH**

**Joko Waluyo¹, Paryanto¹, Muhammad Farhan Abrar^{1*}, Akif Mahrus Ali¹, Ibnu Singgih
Pranoto², Yulinar Pramesti Cahyani²**

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir Sutami No.36, Kec. Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57126

²PT Biosan Mandiri

Jl. Mangga No.10, Krobyongan, Gawaninan, Kec. Colomadu, Karanganyar, Jawa Tengah 57175

*Email: farhanabrar12@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dosis bakteri Anaerobic Granule Bacteria dalam pengolahan limbah cair domestik menggunakan IPAL Individual SANFAB ST600 di Desa Bendo, Boyolali, Jawa Tengah. Penelitian dilakukan pada tiga rumah warga dengan pemberian dosis bakteri yang berbeda-beda (30, 40, dan 60 gram) dengan pengambilan sampel limbah cair domestik yang berasal dari campuran black water dan grey water. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan dosis bakteri sebesar 30 gram pada IPAL sampel A memberikan hasil pengolahan yang paling optimal, dengan persentase pengurangan Total Suspended Solids (TSS) mencapai 99%, Chemical Oxygen Demand (COD) mencapai 86%, dan Biological Oxygen Demand (BOD) mencapai 61%. Pada penelitian ini memberikan kecenderungan terhadap penggunaan dosis bakteri yang lebih rendah dapat menghasilkan rasio pengolahan yang lebih baik, dengan potensi pengolahan limbah yang optimal dan biaya yang lebih efisien. Namun, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan dosis bakteri minimum yang diperlukan dalam pengolahan limbah cair domestik menggunakan IPAL Individual SANFAB ST600. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan sistem pengolahan limbah cair domestik di daerah tersebut dengan mempertimbangkan efektivitas dan efisiensi penggunaan bakteri.

Kata kunci: limbah cair domestik, anaerobic granule bacteria, IPAL ST 600, COD, BOD, TSS.

Abstract

This research aims to find out the effectiveness of Anaerobic Granule Bacteria dosage in treating domestic wastewater using the Individual SANFAB ST600 wastewater treatment system in Bendo Village, Boyolali, Central Java. The research was conducted in three residential houses with varying bacterial dosages (30, 40, and 60 grams), and samples were collected from a combination of black water and grey water. The results revealed that a bacterial dosage of 30 grams in Mr. Dayat's household provided the most optimal treatment outcomes, with a percentage reduction of Total Suspended Solids (TSS) reaching 99%, Chemical Oxygen Demand (COD) reaching 86%, and Biological Oxygen Demand (BOD) reaching 61%. The research suggests a tendency for lower bacterial dosages to yield better treatment efficiency, offering the potential for optimal wastewater treatment with cost-effectiveness. However, further research is necessary to determine the minimum bacterial dosage required for effective domestic wastewater treatment using the Individual SANFAB ST600 system. This research contributes significantly to the improvement of domestic wastewater treatment systems in the area by considering the effectiveness and efficiency of bacterial utilization.

Keywords: domestic wastewater, anaerobic granule bacteria, ST 600 WWTP, COD, BOD, TSS

1. PENDAHULUAN

Semua aktivitas manusia mempengaruhi lingkungan. Contoh kegiatan yang berdampak

langsung terhadap lingkungan antara lain kegiatan buang air dan buang air besar seperti mandi, buang air kecil dan buang air besar.

Kegiatan tersebut menghasilkan limbah yang langsung dibuang ke lingkungan dan disebut sebagai limbah domestik. Limbah domestik berdasarkan sumbernya dibagi dua, yaitu *black water* dan *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 (Wulandari, 2019). Pada penelitian kali ini akan berfokus terhadap pengolahan limbah cair domestik campuran antara ke dua sumber masukan tersebut, hal ini berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Waluyo et al., 2022), yang membandingkan antara penggunaan *anaerobic granule bacteria* pada sumber limbah *black water* saja dengan campuran antara ke dua sumber limbah. Pada penelitiannya diketahui bahwa penggunaan *anaerobic granule bacteria* lebih efektif digunakan ketika sumber masukan berasal dari *black water* dan *grey water*. Berdasarkan penelitian tersebut selanjutnya penelitian ini akan membandingkan dosis efektif yang perlu digunakan dalam pengolahan air limbah domestik.

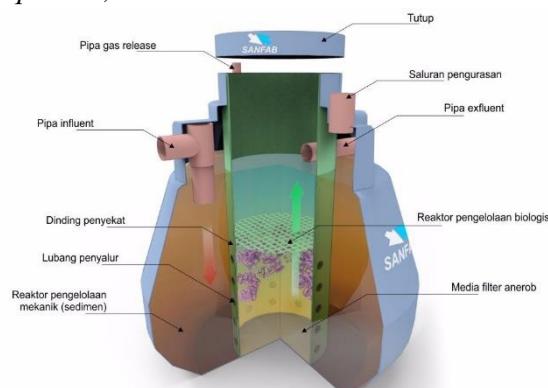
Berdasarkan data BPS Kabupaten Boyolali, 2023, jumlah penduduk Kabupaten Boyolali pada tahun 2022 sebanyak 1.079.952. Pesatnya pertumbuhan penduduk di Kabupaten Boyolali berbanding lurus dengan limbah cair yang dihasilkan oleh rumah tangga, sehingga pengolahan limbah rumah tangga sangat diperlukan. Oleh karena itu, hal ini menjadi dasar dalam menentukan lokasi penelitian di Desa Bendo, Boyolali untuk membangun kesadaran masyarakat akan pentingnya pemasangan instalasi pengelolaan air limbah rumah tangga agar tidak berdampak buruk pada lingkungan. Selain itu pada Desa Bendo juga telah terpasang sistem pengelolaan limbah cair domestik dengan menggunakan IPAL (Instalasi Pengelolaan Air Limbah) Individual SANFAB ST600. Penggunaan IPAL sebagai sistem pengelolaan limbah cair pada rumah tangga merupakan salah satu cara yang cukup terjangkau bagi masyarakat dalam memulai dan menjaga lingkungan terhadap limbah yang dihasilkannya (Arifudin et al., 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kebutuhan efektif dalam penggunaan dosis bakteri *Anaerobic Granule Bacteria* untuk penggunaan IPAL Individual SANFAB ST 600 yang telah terpasang di tiga rumah warga pada Desa Bendo dengan membandingkannya terhadap debit aliran limbah cair masing-masing rumah. Peninjauan efektivitas penggunaan bakteri berdasarkan pengurangan kadar parameter yang diuji serta pemenuhan nilai baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

2. METODOLOGI

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain IPAL individual (*septic tank*) SANFAB ST600 (Gambar 1), gelas beaker, pH meter, alat ukur *sludge*, botol 1,5 L, *ice box*, dan ember. Bahan yang diperlukan adalah *Anaerobic Granule Bacteria*. (terdiri dari *Actinomyces sp.*, *Bifidobacterium sp.*, *Clostridium sp.*, *Propionibacterium sp.*, *Peptostreptococcus sp.*) dan sampel air limbah domestik sebagai sampel uji yang diperoleh dari *inlet* dan *outlet* ST600 sampel A (penambahan dosis bakteri 30 gram), sampel B (penambahan dosis bakteri 40 gram), dan Sampel C (penambahan dosis bakteri 60 gram) pada Desa Bendo, Kecamatan Nogosari, Kabupaten Boyolali. Selain itu, diperlukan juga sarung tangan lateks, masker, kertas tisu, *aquadest*, serta es batu.



Gambar 1 IPAL Individual SANFAB ST600

2.2. Penambahan Bakteri, Pengambilan Sampel, dan Pengujian Sampel

Sebelum melakukan pengambilan sampel, instalasi pengolahan air limbah domestik yang telah terpasang dan dapat dialiri air limbah

perlu dimasukkan bakteri terlebih dahulu sebanyak 30, 40, atau 60 gram pada setiap lokasi pengambilan sampel dengan tujuan untuk membandingkan efektivitas penggunaan jumlah bakteri yang digunakan.

Pengambilan sampel inlet hanya dilakukan sebanyak 1 kali yaitu pada saat T_0 (sebelum pemberian bakteri). Pengambilan sampel inlet dilakukan pada bak settler yang terdapat pada IPAL dengan bantuan alat ukur *sludge*. Sedangkan untuk pengambilan sampel outlet dilakukan pada bak kontrol (bak sampel) dengan pengambilan sampel sebanyak 4 kali, yaitu pada saat T_0 (sebelum pemberian bakteri), T_1 (7 hari setelah pemberian bakteri), T_2 (14 hari setelah pembelian bakteri), dan T_3 (21 hari setelah pemberian bakteri). Selama proses jangka waktu dalam pengambilan sampel juga dilakukan perhitungan debit aliran limbah masuk yang dihitung berdasarkan penggunaan air untuk mandi, WC/BAB, dan penggunaan air untuk cuci. Pengambilan sampel outlet dilakukan menggunakan gelas beaker serta sarung tangan lateks.

Sampel yang berada di dalam gelas beaker kemudian dilakukan pengukuran parameter pH dan ORP (*Oxidation Reduction Potential*) di lapangan. Selain itu sampel juga disimpan dalam botol berukuran 1,5L untuk pengukuran parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solid*) yang diuji di Balai Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Yogyakarta.

Sampel inlet dan outlet T_0 setiap IPAL diambil pada 16 Maret 2023. Kemudian untuk sampel outlet akan diambil secara berkala selama 7 hari berturut-turut yaitu sampel outlet T_1 pada tanggal 21 Maret 2023, sampel outlet T_2 pada tanggal 28 Maret 2023, dan sampel outlet T_3 pada 4 April 2023.

2.3. Perhitungan dan Analisis Hasil

Hasil pengujian sampel di laboratorium kemudian diamati dan disusun tabel untuk hasil uji sampel, serta dibandingkan dengan baku

mutu air limbah domestik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016). Kemudian hasil analisis tiap sampel dibandingkan dengan perbandingan antara penambahan jumlah bakteri yang digunakan untuk mendapatkan % nilai efektivitas penggunaan bakteri dan kinerja IPAL berdasarkan penurunan setiap parameter yang diujikan terhadap kadar awal nilai acuan (inlet), menghitung rasio BOD/COD, serta beban pencemaran air limbah domestik pada tiap sampel yang diuji.

Nilai efektivitas penggunaan bakteri dihitung berdasarkan pengurangan kadar parameter yang diujikan terhadap kadar sampel sebelum dilakukan pengolahan yang dinyatakan dalam nilai efisiensi yang berbentuk persentase (%). Efektivitas ini dapat digunakan dalam parameter Total Suspended Solid (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan minyak lemak (Lestari, 2020). Perhitungan ini mengacu pada rumus umum (Metcalf & Eddy, 2003) sebagai berikut:

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

dengan :

E = efisiensi pengolahan air limbah (%)

S_0 = konstanta inlet T_0 (mg/L)

S = konstanta outlet T_{ke-n} (mg/L)

hasil perhitungan efektivitas penggunaan bakteri dan kinerja IPAL 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 = $x \leq 20\%$

Kemudian juga dilakukan perhitungan rasio BOD/COD setiap hasil uji sampel yang bertujuan untuk menunjukkan indikator level degradasi suatu limbah. Rasio BOD/COD terbagi menjadi 3 zona, yaitu *biodegradable*, *slow biodegradable* (*biodegradable* dengan *treatment*), dan *non-biodegradable* (Yustiani et al., 2020). Ketika suatu limbah tingkat

degradasinya semakin tinggi, maka rasio BOD/COD tersebut akan berbanding lurus menjadi semakin besar. Rasio BOD/COD bernilai $< 0,3$ bersifat *non-biodegradable*, $0,3\text{--}0,6$ biodegradable tetapi memerlukan *treatment*, dan $> 0,6$ *biodegradable* (Yustiani et al., 2020). Rasio BOD/COD dapat dihitung dengan rumus:

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

Penghitungan beban pencemaran dilakukan untuk melihat seberapa besar konsentrasi tiap parameter yang berpotensi menyebabkan pencemaran perairan (Saputri et al., 2015). Beban pencemaran limbah domestik dilihat berdasarkan parameter-parameter yang diketahui yaitu TSS, BOD, dan COD. Perhitungan beban pencemaran maksimum berdasarkan standar baku mutu dan aktual menggunakan rumus:

$$\text{BPM} = Q \times C_{BM} / 1.000.000 \quad (3)$$

$$\text{BPA} = Q \times C_M / 1.000.000 \quad (4)$$

Dengan:

BPM = Beban pencemaran maksimum (kg/hari)

BPA = Beban pencemaran aktual (kg/hari)

Q = Debit terukur (L/hari)

C_{BM} = Konsentrasi parameter berdasarkan standar baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016 (mg/L)

C_M = Konsentrasi parameter terukur (mg/L)

1.000.000 = Faktor konversi, (mg/kg)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameter Total Padatan Tersuspensi (TSS)

Parameter TSS menunjukkan nilai tingkat kekeruhan limbah cair. Menurut (Winnarsih et al., 2016), nilai TSS akan semakin tinggi ketika

air limbah semakin keruh. Pada air limbah domestik, baku mutu TSS yang ditetapkan berdasarkan Permen LHK No.68 tahun 2016 maksimal adalah 30 mg/L. Jika nilainya di atas baku mutu, maka air limbah domestik belum layak untuk dialirkan ke lingkungan.

Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi TSS *outlet* IPAL menurun hingga lebih dari 96% dibandingkan dengan konsentrasi TSS pada *inlet*. Hal ini menunjukkan bahwa ST600 bekerja sangat baik. Lebih lanjut, dengan penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* pada dosis 30 gram dapat menurunkan konsentrasi TSS hingga memenuhi baku mutu ($< 30\text{mg/L}$) pada minggu pertama setelah penambahan bakteri.

Pada minggu ke 2 setelah penambahan bakteri terjadi kenaikan nilai TSS pada *outlet* ST600 Sampel A, hal ini disebabkan karena tingginya konsentrasi bahan organik disertai dengan peresapan air ke dalam tanah pada sumur serapan yang kurang maksimal karena curah hujan yang tinggi pada waktu minggu ke 2 setelah penambahan bakteri, sehingga air limbah yang belum terserap mengganggu proses pengolahan air limbah di IPAL akibat ketinggian level air berada di atas pipa pengeluaran sumur serapan yang menyebabkan air yang seharusnya sudah terserap ke dalam tanah kembali ke dalam IPAL dan menggenang pada bak kontrol, sehingga menyebabkan nilai padatan yang tersuspensi naik.

Pada minggu ke 3 setelah penambahan bakteri, konsentrasi TSS kembali mengalami penurunan hingga 32 mg/L. Konsentrasi tersebut masih sedikit di atas baku mutu yang telah ditetapkan pada 30 mg/L, tetapi jika dilihat berdasarkan nilai konsentrasi TSS *inlet* yaitu sebesar 2160 mg/L, proses pengolahan limbah pada IPAL Sampel A berhasil menurunkan sebanyak 99% terhadap konsentrasi TSS *inlet*, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *Anaerobic Granule Bacteria* dengan dosis 30 gram pada ST600 Sampel A menunjukkan hasil yang positif.

Konsentrasi TSS *outlet* IPAL di sampel B

Tabel 1 Data hasil uji TSS ST di Desa Bendo

No	LOKASI PENGAMBILAN	PENGAMBILAN				
		Inlet	T0	T1	T2	T3
1	Sampel A (30 Gram Dosis Bakteri)	2160	78	28	60	32
2	Sampel B (40 Gram Dosis Bakteri)	556	66	40	78	34
3	Sampel C (60 Gram Dosis Bakteri)	456	44	50	50	24

cenderung menurun hingga minggu ke 3 setelah penambahan bakteri yang juga menunjukkan bahwa ST600 bekerja dengan baik pada penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* pada dosis 40 gram. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan konsentrasi TSS pada minggu ke 3 setelah penambahan bakteri yang mencapai 94% terhadap konsentrasi *inlet* IPAL.

Kenaikan yang terjadi pada minggu ke 2 setelah penambahan bakteri disebabkan oleh hal yang sama yang terjadi pada Sampel A yaitu akibat tingginya intensitas hujan di lokasi penelitian. Walaupun ST600 dengan penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* pada dosis 40 gram milik Sampel B sudah mampu menurunkan konsentrasi TSS hingga 94% terhadap *inlet* namun, keluaran tersebut belum memenuhi standar baku mutu yaitu 30 mg/L. Hal ini disebabkan kurang derasnya atau terlalu derasnya 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 (Khairunna et al., 2021).

Konsentrasi TSS outlet IPAL di sampel C terjadi fluktuasi kadar outlet parameter TSS. Namun pada minggu ke 3 setelah penambahan bakteri, penurunan konsentrasi TSS terhadap *inlet* menunjukkan penurunan yang signifikan hingga memenuhi standar baku mutu (< 30 mg/mL). Hal ini tentu saja menunjukkan bahwa ST600 bekerja cukup baik pada penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* pada dosis 60 gram. Kenaikan konsentrasi TSS pada 2 minggu awal penambahan bakteri bisa disebabkan karena kurang derasnya atau terlalu derasnya 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 (Khairunna et al., 2021).

yang ditetapkan berdasarkan Permen LHK No.68 tahun 2016. Berdasarkan tabel 2 dapat diketahui kadar COD pada air limbah domestik baik di Sampel A, Sampel B, maupun Sampel B belum memenuhi standar baku mutu setelah 3 minggu pemberian *Anaerobic Granule Bacteria*. Namun, penurunan nilai COD dapat dilihat cukup signifikan, pada IPAL Sampel A penurunan COD terhadap *inlet* berkisar 89%-95%, pada IPAL Sampel B 64%-75% dan 83%-89% pada sampel C setelah penambahan *Anaerobic Granule Bacteria*. Berdasarkan persen penurunan tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan IPAL pada ke tiga sampel tersebut bekerja dengan baik.

Pada pengambilan sampel T2, terjadi kenaikan kadar COD pada seluruh outlet ST600. Hal ini dapat terjadi karena penambahan limbah melalui kegiatan di WC rumah, seperti meningkatnya intensitas BAB dan bertambahnya pengguna WC. Kadar COD pada limbah yang tinggi berbanding lurus dengan zat pencemar yang semakin banyak (Ramayanti & Amna, 2019)

3.3. Parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Baku mutu air limbah domestik untuk parameter BOD memiliki kadar maksimum sebesar 30 mg/L. Hasil dari uji laboratorium untuk air limbah domestic disajikan pada tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, nilai BOD yang didapat menunjukkan terdapat penurunan kadar BOD pada pengolahan IPAL Sampel A, Sampel B, dan Sampel C terhadap konsentrasi BOD pada *inlet*. Pada Sampel A dengan penambahan 30 gram *Anaerobic Granule Bacteria* dapat menurunkan hingga 77% konsentrasi BOD terhadap *inlet*.

Pada sampel B dengan dosis bakteri sebanyak 40 gram mengalami penurunan secara berkelanjutan dari 37% hingga 49% pada

Tabel 2 Data hasil uji COD IPAL di Desa Bendo

No	LOKASI PENGAMBILAN	PENGAMBILAN				
		Inlet	T0	T1	T2	T3
1	Sampel A (30 Gram Dosis Bakteri)	1919,1	145,594	106,62	285,06	261,12
2	Sampel B (40 Gram Dosis Bakteri)	715,9	255,07	182,24	235,01	178,43
3	Sampel C (60 Gram Dosis Bakteri)	1088,9	117,91	162,66	182,78	176,26

3.2. Parameter Chemical Oxygen Demand (COD)

Paramater COD air limbah domestik memiliki kadar maksimum sebesar 100 mg/L

minggu ke 3 setelah penambahan bakteri. Penambahan bakteri 60 gram yang diberikan ke Sampel C belum memberikan hasil yang positif dibandingkan penurunan konsentrasi BOD

tanpa penambahan bakteri. Hal ini ditunjukkan dengan nilai penurunan konsentrasi BOD yaitu

dilakukan pengolahan lebih lanjut sudah memenuhi baku mutu KLHK. Selain itu Nilai

Tabel 3 Data hasil uji BOD IPAL di Desa Bendo

No	LOKASI PENGAMBILAN	PENGAMBILAN				
		Inlet	T0	T1	T2	T3
1	Sampel A (30 Gram Dosis Bakteri)	360,82	86,67	81,63	144,23	139,15
2	Sampel B (40 Gram Dosis Bakteri)	253,1	160,1	148,77	156,49	127,86
3	Sampel C (60 Gram Dosis Bakteri)	246,86	92,2	134,15	104,09	134,74

sekitar 50% terhadap *inlet* setelah penambahan bakteri yang turun jika dibandingkan sebelum penambahan bakteri yaitu sebesar 63% penurunan kadar BOD terhadap *inlet*.

Hasil uji data konsentrasi BOD yang didapat pada IPAL Sampel A, Sampel B, dan Sampel C juga belum dapat memenuhi baku mutu yaitu di bawah 30 mg/L setelah 3 minggu pemberian bakteri. Terjadinya fluktuasi nilai BOD kemungkinan disebabkan oleh tingginya intensitas hujan pada lokasi pengambilan sampel yang mengakibatkan kurang maksimalnya penyerapan limbah hasil keluaran IPAL oleh tanah. Penyerapan hasil limbah keluaran IPAL yang kurang maksimal tersebut menyebabkan aliran limbah yang seharusnya keluar dari IPAL menuju sumur serapan menjadi terhambat. Hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan beban pengolahan pada IPAL sehingga penurunan nilai BOD yang didapatkan kurang maksimal.

3.4. Parameter pH

Tabel 4 Data hasil uji pH IPAL di Desa Bendo

No	LOKASI PENGAMBILAN	PENGAMBILAN				
		Inlet	T0	T1	T2	T3
1	Sampel A (30 Gram Dosis Bakteri)	7,3	7,6	7,7	7,2	7,2
2	Sampel B (40 Gram Dosis Bakteri)	7,4	7,5	7,8	7	6,8
3	Sampel C (60 Gram Dosis Bakteri)	7,5	7,9	8	7	6,7

Nilai tingkat keasaman (pH) menggambarkan konsentrasi ion hidrogen dan sifat keasaman. Nilai pH menjadi faktor penting aktivitas mikroorganisme dalam air (Jin & Kirk, 2018). Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2016), saat ini berlaku parameter yang ditetapkan air limbah yang sesuai dengan baku mutu memiliki rentang pH 6-9. Dari hasil pengecekan pH yang ditunjukkan pada tabel 6, dapat dilihat bahwa nilai pH *inlet* ST600 di sampel A, Sampel B, dan Sampel C memiliki nilai rentang pH 7,3 – 7,5.

Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair domestik dari ke tiga sampel tersebut sebelum

pH *outlet* ke tiga sampel tersebut juga sudah memenuhi baku mutu KLHK dengan nilai pH paling kecil yaitu pada keluaran minggu ke 3 setelah pemberian bakteri pada IPAL Sampel C sebesar 6,7. pH terbesar dalam tiga minggu pengambilan data yaitu sebesar 8 ketika satu minggu setelah pemberian bakteri pada IPAL Sampel C. Berdasarkan data pH di atas dapat diketahui bahwa rata-rata nilai pH yang dimiliki oleh IPAL Sampel C lebih besar jika dibandingkan dua IPAL lainnya. Hal tersebut disebabkan oleh aktivitas pembersihan kamar mandi dengan menggunakan cairan pembersih desinfektan (karbol) yang dilakukan pada minggu awal penambahan bakteri. Pada riset yang dilakukan oleh (Desfitri et al., 2022), diketahui bahwa karbol atau cairan pembersih lantai memiliki pH dengan nilai basa yaitu pada rentang pH 8 – 9, sehingga penggunaan karbol pada kamar mandi Sampel C dapat menyebabkan kenaikan pH limbah cair domestik.

3.5. Paramater ORP

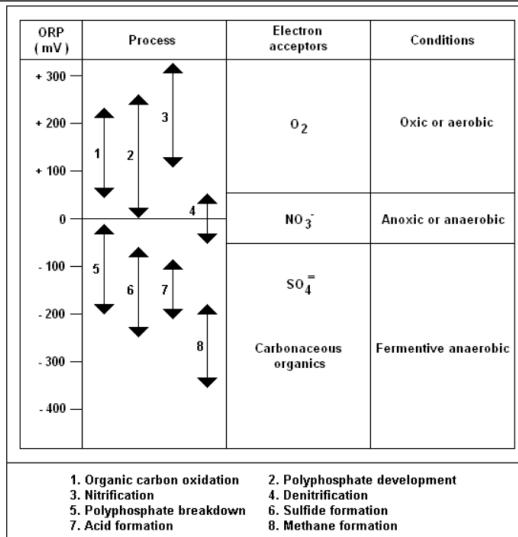
Parameter ORP dalam pengolahan limbah cair bertujuan untuk memberikan penilaian/kesimpulan cepat tentang potensi pengolahan air limbah dengan mengetahui aktivitas pengolahan (reaksi) yang sedang terjadi (Suslow, 2004). Nilai ORP yang negatif atau berada pada kisaran -350 hingga -80 mV merupakan kondisi anaerobik (Panizio et al., 2020; Wu et al., 2021). Berdasarkan pengambilan data ORP yang dilakukan secara langsung pada lapangan dengan menggunakan *ORP Meter* ditunjukkan pada tabel 7 di atas. Nilai ORP pada keluaran limbah domestik di IPAL sampel A sebelum diberikan penambahan

Tabel 5 Data hasil uji ORP IPAL di Desa Bendo

No	LOKASI PENGAMBILAN	PENGAMBILAN			
		T0	T1	T2	T3
1	Sampel A (30 Gram Dosis Bakteri)	+45	-194	-209	-295
2	Sampel B (40 Gram Dosis Bakteri)	-259	-214	-283	-225
3	Sampel C (60 Gram Dosis Bakteri)	-190	-260	-270	-235

bakteri yaitu +45, sehingga dapat diketahui bahwa proses yang sedang berlangsung merupakan pengembangan polifosfat (*polyphosphate development*) serta proses reduksi nitrat menjadi gas nitrogen (*denitrification*). Proses ini berlangsung dalam kondisi *anoxic*. Selanjutnya hingga minggu ke 3 setelah penambahan bakteri nilai ORP yang didapat diketahui dalam 3 minggu proses pengolahan limbah cair dengan penambahan bakteri bahwa proses pengolahan limbah cair pada IPAL sampel A berlangsung dengan optimum dalam kondisi anaerobik.

Proses pengolahan yang terjadi pada 3 minggu tersebut sesuai dengan proses pengolahan limbah cair domestik secara anaerob yang ditandai dengan penurunan polifosfat (-194), pembentukan sulfida (-194), pembentukan asam (-194 & -209), dan pembentukan metana pada akhir proses pengolahan (-295). Nilai ORP yang didapatkan pada limbah cair keluaran IPAL Sampel B, dan Sampel C juga berlangsung dalam kondisi anaerobik. Proses pengolahan limbah anaerob pada IPAL Sampel B dan IPAL Sampel C relatif sama dengan pembentukan gas metana sebagai tahapan akhir dalam proses pengolahan limbah cair secara anerob yang terjadi pada minggu ke 2 hingga ke 3 setelah diberikan penambahan *Anaerobic Granule Bacteria*. Kecenderungan proses reaksi berdasarkan nilai ORP disajikan pada gambar 3.

**Gambar 3** Kecenderungan Reaksi Pengolahan Air pada Paramater ORP

3.6. Rasio Konsentrasi BOD Terhadap COD

Rasio BOD terhadap COD digunakan untuk mengetahui tingkat biodegradabilitas limbah. Tingkat degradasi 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 disajikan pada tabel 6.

Berdasarkan tabel 6 diketahui rasio BOD/COD *inlet* IPAL pada sampel A dan sampel C dapat dikategorikan sebagai limbah *non-biodegradable* dengan rasio < 0,3, sedangkan untuk sampel B dengan nilai rasio sebesar 0,354 masih dapat dikategorikan sebagai limbah *biodegradable* yang memerlukan *treatment*. Sehingga berdasarkan kategori limbah tersebut *inlet* pada tiga IPAL tersebut jika langsung dibuang ke lingkungan akan sangat berbahaya karena limbah tidak dapat diuraikan lebih lanjut dalam proses biologis oleh lingkungan.

Pengolahan limbah cair domestik pada IPAL dengan penambahan *Anaerobic Granule Bacteria* menghasilkan hasil yang positif. Dapat diketahui bahwa setelah limbah cair melalui pengolahan pada IPAL Sampel B dan Sampel C

Tabel 6 Perhitungan Rasio Konsentrasi BOD/COD IPAL di Desa Bendo

No	LOKASI PENGAMBILAN	PENGAMBILAN				
		Inlet	T0	T1	T2	T3
1	Sampel A (30 Gram Dosis Bakteri)	0,188	0,595	0,763	0,506	0,533
2	Sampel B (40 Gram Dosis Bakteri)	0,354	0,628	0,816	0,666	0,717
3	Sampel C (60 Gram Dosis Bakteri)	0,227	0,782	0,825	0,569	0,764

dalam 4 minggu pengambilan data didapatkan rasio BOD/COD > 0,6. Hal ini menandakan bahwa pengolahan limbah dengan penggunaan IPAL dan penambahan bakteri berdampak positif dengan limbah cair yang dapat dikategorikan sebagai limbah *biodegradable*.

Sedangkan untuk IPAL Sampel A dalam 4 minggu pengambilan data didapat rasio BOD/COD berada pada rentang 0,506 – 0,763 sehingga limbah cair IPAL Sampel A dapat dikategorikan sebagai limbah *biodegradable* dengan penambahan *treatment*. Oleh karena itu, dari hasil tersebut dapat dilakukan proses biologis terhadap air limbah domestik, tetapi dekomposisinya berjalan lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi limbah (Fresenius et al., 1989). Sebagai catatan tambahan bahwa perbedaan-perbedaan yang terjadi pada nilai rasio BOD/COD dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang berperan serta di dalam IPAL, yaitu pH, suhu, dan DO (*Dissolved Oxygen*).

3.7. Beban Pencemar Air Limbah Domestik

Parameter yang akan digunakan dalam perhitungan beban pencemaran adalah TSS, COD, dan BOD. Ketiga parameter yang digunakan dalam perhitungan ini merupakan bagian dari parameter kunci pencemaran air yang umumnya sering terjadi dengan probabilitas > 80% (Iskandar, 2007). Nilai beban pencemaran digunakan untuk mengetahui bagaimana peluang limbah menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan, di mana ketika nilai BPA > BPM akan menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan,

sebaliknya jika BPA < BPM maka limbah cair dapat dinyatakan tidak menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan (Sahubawa, 2011). Nilai beban pencemaran maksimal (BPM) berdasarkan standar baku mutu adalah sebagai berikut.

Tabel 7 Nilai Beban Pencemaran Maksimum Air Limbah Domestik

Paramater	Konsentrasi (mg/L)	Debit (L/hari)	Beban pencemaran (kg/hari)
TSS (mg/L)	30	300	0,0090
COD (mg/L)	100	300	0,0300
BOD (mg/L)	30	300	0,0090

Pada tabel 7 dapat diketahui beban pencemaran maksimum berdasarkan standar baku mutu yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2016). Jumlah debit yang digunakan juga merupakan debit standar yang ditetapkan oleh KLHK di mana debit yang dihasilkan oleh 1 orang ialah sebanyak 100 liter/hari, sehingga dengan jumlah pengguna IPAL yang seragam antara Sampel A, Sampel B, dan Sampel C sebanyak 3 orang, dapat dinyatakan BPM pada setiap limbah cair domestik IPAL yang ditinjau memiliki nilai yang sama yaitu 0,009 kg/hari untuk TSS, 0,03 kg/hari untuk COD dan 0,009 kg/hari untuk BOD. Penentuan beban pencemaran air limbah domestik aktual (BPA) menggunakan hasil data setelah 21 hari pemberian bakteri disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Perhitungan Nilai Beban Pencemaran Aktual Air Limbah Domestik di Desa Bendo

NO	LOKASI PENGAMBILAN	PARAMETER	BEBAN PENCEMARAN AKTUAL		
			Konsentrasi (mg/L)	Debit (L/hari)	Beban Pencemaran (kg/hari)
1	Sampel A (30 Gram Dosis Bakteri)	TSS	32	275	0,0088
		COD	261,12	275	0,0718
		BOD	139,15	275	0,0383
2	Sampel B (40 Gram Dosis Bakteri)	TSS	34	232	0,0079
		COD	178,43	232	0,0414
		BOD	127,86	232	0,0297
3	Sampel C (60 Gram Dosis Bakteri)	TSS	24	166	0,0040
		COD	176,26	166	0,0293
		BOD	134,74	166	0,0224

Tabel 9 Rasio Pengolahan Berdasarkan Jenis dan Dosis Bakteri pada SANFAB ST 600

NO	JENIS BAKTERI DAN BIAYA	PARAMETER	BEBAN PENCEMARAN AKTUAL		
			Beban limbah inlet (kg/hari)	Beban limbah terolah (kg/hari)	ratio
1	Granule 30 gram (Rp30,000)	TSS	0,5940	0,5852	0,9852
		COD	0,5278	0,4559	0,8639
		BOD	0,0992	0,0610	0,6144
2	Granule 40 gram (Rp40,000)	TSS	0,1058	0,0979	0,9254
		COD	0,2526	0,2112	0,8361
		BOD	0,0573	0,0276	0,4821
3	Granule 60 gram (Rp60,000)	TSS	0,0923	0,0883	0,9568
		COD	0,1188	0,0896	0,7538
		BOD	0,0420	0,0196	0,4676
4	Starbio (I) 1 kg (Rp75,000)	TSS	0,2400	0,1939	0,8080
		COD	0,4223	0,2576	0,6099
		BOD	0,1243	0,0537	0,5129
5	Starbio (II) 1 kg (Rp75,000)	TSS	0,0394	0,0240	0,6098
		COD	0,0921	0,0397	0,4309
		BOD	0,0385	0,0146	0,3789

Perhitungan debit yang digunakan pada penentuan nilai BPA didapatkan berdasarkan aktivitas yang dilakukan oleh keluarga pada waktu pengambilan sampel masing-masing rumah. Penggunaan kamar mandi di antaranya yaitu aktivitas mandi, BAB/BAK, serta kegiatan cuci. Dapat dilihat walaupun jumlah pengguna kamar mandi antara ke tiga rumah berjumlah sama, tetapi untuk debit harian yang dihasilkan dapat berbeda-beda. Berdasarkan hal tersebut dapat dinyatakan pengolahan limbah cair domestik juga akan bergantung terhadap bagaimana perilaku penggunaan kamar mandi oleh setiap penggunanya.

Berdasarkan Tabel 8 diketahui untuk BPA parameter TSS, limbah cair domestik ke tiga IPAL memiliki nilai BPA < BPM. Untuk parameter COD hanya IPAL Sampel C yang memiliki nilai BPA < BPM, sedangkan untuk parameter BOD seluruh limbah cair domestik memiliki nilai BPA > BPM. Penentuan pencemaran lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh limbah cair domestik dari keluaran IPAL

dapat dinyatakan dengan banyaknya parameter yang memiliki nilai BPA > BPM.

Sehingga dari IPAL ke 3 rumah tersebut diketahui limbah cair domestik IPAL Sampel A dan Sampel B memiliki potensi menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan dengan 2 parameter BPA yang lebih besar dibandingkan dengan BPM dari 3 parameter yang diperhitungkan. Sedangkan untuk limbah cair domestik keluaran IPAL Sampel C dapat dinyatakan tidak/sedikit menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan dengan hanya 1 parameter BPA yang lebih besar dibandingkan dengan BPM.

3.8. Efektivitas Penggunaan Bakteri terhadap Rasio Pengolahan dan Perhitungan Ekonomi

Efektivitas penggunaan bakteri terhadap perhitungan ekonomi pada penelitian ini ditinjau berdasarkan penggunaan jumlah dosis bakteri yang digunakan pada setiap IPAL, selain itu perhitungan ekonomi juga akan

Tabel 10 Efektivitas Penggunaan Bakteri Dosis 30 Gram

Parameter	Baku Mutu	Dosis Bakteri	% Efektivitas	Hasil Pengolahan Limbah (Outlet)		
				Ket.	Beban pencemar (kg/hari)	Ket.
TSS	30 mg/L	30 gram	99%	Sangat efektif	0,0088	Tidak menimbulkan pencemaran
COD	100 mg/L	30 gram	86%	Sangat efektif	0,0718	Potensi menimbulkan pencemaran
BOD ₅	30 mg/L	30 gram	61%	efektif	0,0383	Potensi menimbulkan pencemaran
Rata-rata rasio pengolahan (perhitungan ekonomi)			0,8212	Penggunaan bakteri sangat efisien dan sangat murah		

Tabel 11 Efektivitas Penggunaan Bakteri Dosis 40 Gram

Parameter	Baku Mutu	Dosis Bakteri	Hasil Pengolahan Limbah (<i>Outlet</i>)			
			% Efektivitas	Ket.	Beban pencemar (kg/hari)	Ket.
TSS	30 mg/L	40 gram	90%	Sangat efektif	0,0079	Tidak menimbulkan pencemaran
COD	100 mg/L	40 gram	70%	Efektif	0,0414	Potensi menimbulkan pencemaran
BOD ₅	30 mg/L	40 gram	41%	Cukup efektif	0,0297	Potensi menimbulkan pencemaran
Rata- rata rasio pengolahan (perhitungan ekonomi)			0,7479		Penggunaan bakteri efisien dan murah	

Tabel 12 Efektivitas Penggunaan Bakteri Dosis 60 Gram

Parameter	Baku Mutu	Dosis Bakteri	Hasil Pengolahan Limbah (<i>Outlet</i>)			
			% Efektivitas	Ket.	Beban pencemar (kg/hari)	Ket.
TSS	30 mg/L	60 gram	91%	Sangat efektif	0,0040	Tidak menimbulkan pencemaran
COD	100 mg/L	60 gram	85%	Sangat efektif	0,0293	Tidak menimbulkan pencemaran
BOD ₅	30 mg/L	60 gram	53%	Cukup efektif	0,0224	Potensi menimbulkan pencemaran
Rata- rata rasio pengolahan (perhitungan ekonomi)			0,7261		Penggunaan bakteri efisien dan cukup murah	

dibandingkan dengan penggunaan bakteri Starbio yang sebelumnya telah diaplikasikan oleh jenis IPAL yang sama. Efektivitas penggunaan bakteri terhadap perhitungan ekonomi disajikan pada Tabel 9.

Perhitungan ekonomi didasarkan kepada rasio beban limbah dibagi dengan beban yang terolah, di mana nilai rasio yang mendekati nilai 1 menandakan penggunaan bakteri yang lebih efektif. Berdasarkan perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan bakteri starbio memiliki nilai rasio yang lebih kecil jika dibandingkan dengan rasio pengolahan dengan penggunaan bakteri granule, sehingga dapat disimpulkan penggunaan bakteri granule dalam pengolahan limbah cair domestik pada ST 600 lebih baik dibandingkan dengan penggunaan bakteri Starbio. Selain itu penggunaan bakteri starbio lebih mahal jika dibandingkan dengan penggunaan bakteri granule, di mana penggunaan bakteri starbio memerlukan dosis sebanyak 1 kg dengan harga Rp75,000, sehingga jika dibandingkan dengan penggunaan bakteri granule yang lebih sedikit (30-60 gram)

dengan rentang harga Rp30,000 –Rp60,000 jauh lebih murah dan efektif jika menggunakan bakteri granule dalam pengolahan limbah.

3.9. Efektivitas Penggunaan Bakteri terhadap Paramater Limbah, Beban Pencemar dan Perhitungan Ekonomi

Berdasarkan tabel 10 – 12 yang merupakan rangkuman dari keseluruhan data perhitungan yang diperoleh, dapat diketahui bagaimana efektivitas penggunaan dosis bakteri terhadap paramater limbah yang dinilai, beban pencemar serta perhitungan nilai ekonomi. Didapatkan data bahwa sampel A dengan penambahan jumlah dosis sebanyak 30 gram memiliki hasil yang paling efektif jika dibandingkan antara 2 (dua) sampel lainnya. Hal ini ditunjukkan dengan nilai persentase efektivitas paramater yang paling baik, selain itu dalam nilai efisiensi penggunaan dosis 30 gram pada sampel A memiliki nilai rasio pengolahan (perhitungan ekonomi) yang paling tinggi jika dibandingkan dengan nilai rasio pengolahan pada sampel yang lainnya.

4. KESIMPULAN

Efektifitas penggunaan *Anaerobic Granule Bacteria* dalam pengolahan limbah cair domestik pada IPAL individual SANFAB ST600 yang dipasang pada beberapa rumah warga di Desa Bendo, Kecamatan Nogosari, Kabupaten Boyolali sudah cukup efektif jika dilihat berdasarkan nilai efektivitas keluaran *outlet* ST terhadap *inlet*, tetapi beberapa kadar paramater yang diuji masih belum memenuhi terhadap nilai baku mutu yang telah ditetapkan, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti penggunaan cairan pembersih (desinfektan), penyerapan tanah yang kurang maksimal, serta fluktuasi beban pencemaran yang diberikan berdasarkan intensitas penggunaan bakteri.

Berdasarkan tiga rumah yang diuji kadar limbah cair domestiknya dengan menggunakan dosis bakteri yang berbeda-beda dapat disimpulkan pada hasil pengolahan limbah cair domestik IPAL sampel A memberikan hasil yang terbaik. Penggunaan 30 gram dosis bakteri yang diberikan pada IPAL sampel A memiliki %efektivitas terhadap paramater TSS, COD, dan BOD masing-masing yaitu 99%, 86%, dan 61%. Perbandingan dosis penggunaan bakteri granule memberikan hasil bahwa semakin sedikit penggunaan dosis bakteri menghasilkan rasio pengolahan yang lebih baik.

Sehingga kecenderungan penggunaan bakteri terhadap efektivitas pengolahan diketahui pada penggunaan kadar dosis bakteri sebanyak 30 gram. Selain itu penggunaan bakteri juga akan sebanding dengan penurunan harga yang dibutuhkan dalam penyediaan bakteri sehingga kadar dosis bakteri 30 gram merupakan kebutuhan yang paling efisien pada penelitian ini. Diketahui pada penelitian kali ini membandingkan antara penggunaan 60, 40, dan 30 gram dosis bakteri didapatkan hasil bahwa penggunaan dosis yang paling sedikit memberikan hasil yang paling baik, tetapi sebagai catatan perlu dikaji lebih lanjut berapa jumlah minimum dosis bakteri yang dibutuhkan sebagai batas bawah dalam pengolahan limbah cair domesik pada ST 600.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Biosan Mandiri serta Pemerintah Daerah Kabupaten Boyolali yang telah membantu kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifudin, A., Setiyono, S., Priyanto, F. E., & Sulistia, S. (2020). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Makanan. *Jurnal Air Indonesia*, 11(1).
- BPS Kabupaten Boyolali. (2023). *Kabupaten Boyolali dalam Angka*. BPS Kabupaten Boyolali.
- Desfitri, E. R., Desmiarti, R., Verdana, S. Y., & Amanda, A. (2022). Pembuatan Cairan Pembersih Lantai dengan Memanfaatkan Minyak Atsiri dan Hidrosolnya. *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, 3(1), 28.
- Fresenius, W., Schneider, W., Boehnke, B., & Poeppinghaus, K. (1989). *Waste Water Technology: Origin, Collection, Treatment, and Analysis of Waste Water*. Springer Verlag.
- Iskandar, I. (2007). Panduan Pelatihan Pengelolaan Kualitas Air. Puslitbang Sumberdaya Air Kementerian Pekerjaan Umum.
- Jin, Q., & Kirk, M. F. (2018). pH as a Primary Control in Environmental Microbiology: 1. Thermodynamic Perspective. *Frontiers in Environmental Science*, 6.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk-Setjen/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. 1–13.
- Khairunna, N., Agustina, S., Setiawan, I., Ramadhaniyat, M., Sakinah, R., Keumala, S., & Ondara, K. (2021). Status Kualitas Perairan Utara Aceh Ditinjau Dari Konsentrasi TSS, BOD₅, Dan DO. *Jurnal Kelautan Dan Perikanan Indonesia Desember*, 1(3), 135–144.
- Lestari, D. S. (2020). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (Studi Kasus: IPAL Domestik Waduk "X" Jakarta). *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(2), 91–102.
- Metcalf & Eddy, I. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. In *McGraw Hill Companies, Inc.* (4th ed.).
- Panzio, R. M., Calado, L. F. do C., Lourinho, G., de Brito, P. S. D., & Mees, J. B. (2020). Potential of Biogas Production in Anaerobic Co-digestion of *Opuntia ficus-indica* and Slaughterhouse Wastes. *Waste and Biomass Valorization*, 11(9), 4639–4647.
- Ramayanti, D., & Amna, U. (2019). Analisis parameter COD (Chemical Oxygen Demand) dan pH (potential Hydrogen) limbah cair di PT. Pupuk Iskandar Muda (PT. PIM) Lhokseumawe. *Quimica: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 1(1), 16–21.
- Sahubawa, L. (2011). Analisis dan Prediksi Beban Pencemaran Limbah Cair Pabrik Pengalengan Ikan. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 18(1), 9–18.
- Suslow, T. V. (2004). Oxidation-Reduction Potential (ORP) for Water Disinfection Monitoring, Control, and Documentation. *ANR Publication 8149*.
- Waluyo, J., Paryanto, P., Margono, M., Wigati, S. M., Rachmadhani, S., Pranoto, I. S., & Cahyani, Y. P. (2022). Evaluasi Kinerja IPAL Individual SANFAB ST 600 dengan Penambahan Anaerobic Granule Bacteria terhadap Outlet IPAL Domestik di Dusun Karangmojo, Boyolali. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 6(1).

- Winnarsih, W., Emiyarti, E., & Afu, L. O. A. (2016). Distribusi Total Suspended Solid Permukaan Di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Sapa Laut*, 1(2), 54–59.
- Wu, M., Liu, J., Gao, B., & Sillanpää, M. (2021). Phosphate substances transformation and vivianite formation in P-Fe containing sludge during the transition process of aerobic and anaerobic conditions. *Bioresource Technology*, 319, 124259.
- Yustiani, Y. M., Mulyatna, L., & Anggadinata, A. (2020). Studi Identifikasi Kualitas Air dan Kapasitas Biodegradasi Sungai Cibalgio. *INFOMATEK: Jurnal Informatika, Manajemen Dan Teknologi*, 22(1), 23–30.