

EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA (IPLT) BANYUROTO KABUPATEN KULON PROGO

AYU DAMAYANTI¹, TITI TIARA ANASSTASIA^{1*}

1. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknologi Mineral dan EnergiUPN "Veteran"
Yogyakarta, Jalan SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatuur, Sleman

*Email: tiara.anasstasia@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Tidak adanya penanganan pada padatan hasil pengolahan lumpur tinja di Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Banyuroto dikhawatirkan dapat menimbulkan pencemaran di lingkungan sehingga perlu adanya evaluasi. Evaluasi ini dilakukan terhadap kinerja unit proses dalam penurunan parameter BOD, COD, dan total coliform, pengaruh pengolahan IPLT terhadap kualitas tanah dekat outlet berdasarkan parameter total coliform, dan potensi padatan hasil pengolahan lumpur tinja terhadap standar mutu pupuk kompos berdasarkan parameter kadar air dan fecal coli. Metode penelitian yang digunakan berupa metode kuantitatif dan kualitatif dengan pengambilan sampel menggunakan metode purposive sampling dan grab sampling serta analisis deskriptif dan matematis. Uji laboratorium menunjukkan bahwa parameter Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) pada efluen IPLT sudah memenuhi baku mutu, sedangkan total coliform masih melebihi baku mutu menurut Permen LHK No. 68 tahun 2016. Tanah disekitarnya termasuk pada kelas agak lambat dengan porositas tanah berada pada kelas porous dan kandungan total coliform >1.100 MPN/gr total. Padatan hasil pengolahan dengan pengeringan 30 hari memiliki kandungan kadar air sebesar 11,392% dan Fecal coli sebesar 150 MPN/gr total serta sudah memenuhi baku mutu pupuk kompos menurut SNI 19-7030-2004.

Kata kunci : evaluasi, lumpur tinja, instalasi pengolahan lumpur tinja

ABSTRACT

The absence of handling of solids from the processing of fecal sludge at the Banyuroto Septage Treatment Plant (STP) is feared to cause environmental pollution, an evaluation is needed. This evaluation is carried out on the performance of the process unit in reducing BOD, COD, and total coliform parameters, the effect of IPLT processing on soil quality near the outlet based on total coliform parameters, and the potential of solids from fecal sludge processing on compost fertilizer quality standards based on water content and fecal coli parameters. The research methods used are quantitative and qualitative methods with sampling using purposive sampling and grab sampling methods as well as descriptive and mathematical analysis. Laboratory tests show that the Biological Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) parameters in the STP effluent have met the quality standards, while the total coliform still exceeds the quality standards according to Permen LHK No. 68 of 2016. The surrounding soil is included in the rather slow class with soil porosity in the porous class and total coliform content > 1,100 MPN / gr total. The solids resulting from processing with 30 days of drying have a water content of 11.392% and Fecal coli of 150 MPN/gr total and have met the quality standards for compost fertilizer according to SNI 19-7030-2004.

Keywords: evaluation, fecal sludge, septage treatment plant.

1. PENDAHULUAN

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Banyuroto merupakan salah satu fasilitas yang disediakan oleh Pemerintahan Kabupaten Kulon Progo untuk masyarakat setempat terutama dalam mengatasi dan mengolah air limbah domestik khususnya *black water* atau lumpur tinja agar tidak mencemari lingkungan. Lumpur tinja berasal dari proses pengendapan *blackwater*. *Blackwater* merupakan air limbah yang bersumber dari kloset dan tertampung dalam tangki septik, serta air seni (Umar, 2011). Umumnya proses pengolahan akan menghasilkan dua macam bentuk, yaitu lumpur kering yang disebut dengan *cake* dan hasil kedua berupa air olahan (efluen).

IPLT Banyuroto mulai beroperasi pada tahun 2014 dengan unit pengolahan yang terdiri dari bak penerima, kolam anaerobik, kolam fakultatif, kolam maturasi 1, kolam maturasi 2, kolam pengering 1, dan kolam pengering 2. Akan tetapi, kolam pengering 1 dan 2 sudah tidak digunakan lagi dan dibiarkan begitu saja. Di akhir tahun 2022 dilakukan pembangunan kolam pengering baru. Hanya saja pengoperasiannya tidak sesuai karena terjadi penumpukan lumpur, lumpur yang seharusnya mengalami pengeringan, tetapi berada pada kondisi yang basah secara terus menerus karena terkena aliran lumpur tinja dari kolam anaerobik. Bulan Maret tahun 2023 terjadi penyumbatan pada kolam anaerobik sehingga terjadi pengolahan secara tidak ideal. Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan kolam anaerobik yang tersumbat, maka dibuat penampung sementara. Hanya saja penampung ini tidak dilakukan pengecoran sehingga akan terjadi kontak secara langsung antara lumpur tinja dengan tanah.

Air hasil olahan lumpur tinja yang dibuang tanpa diketahui konsentrasi di dalamnya dapat menyebabkan dampak bagi lingkungan (Nikuze dkk., 2020). Salah satu parameter yang dapat mencemari tanah adalah *total coliform*. *Total coliform* merupakan kelompok bakteri terdiri dari bakteri aerobik dan fakultatif anaerobik serta termasuk dalam bakteri gram negatif. Bakteri *total coliform* sebagian besar merupakan *heterotrophic* yang dapat bertambah jumlahnya baik di air maupun di tanah (Arsyina dkk., 2019). Terdapat dua kelompok *total coliform*, yaitu koliform fekal (*Fecal coli*) yang bersumber dari kotoran hewan dan koliform non-fekal bersumber dari hewan atau tumbuhan yang mati (Fardiaz, 1993). Tinja manusia mengandung bakteri patogen berupa *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Shigella sp*, dan *Salmonella* yang merupakan anggota dari *Fecal coli* (Arisanty dkk., 2017). Sebagaimana pada penelitian (Nurhidayah dkk., 2022), dimana air tanah yang terkontaminasi tinja terdapat kandungan Total Coliform hingga 4,5/100 mL. Terkontaminasinya air tanah dapat disebabkan oleh jarak buangan tinja terhadap keberadaan air tanah itu sendiri (Sapulette dkk., 2018).

Padatan hasil pengolahan lumpur tinja kaya akan bahan organik yang dapat dimanfaatkan kembali, seperti sebagai bahan dasar pembuatan pupuk kompos. Akan tetapi pemanfaatan ini memerlukan pengujian lanjutan untuk mengetahui konsentrasi yang ada di dalamnya, sehingga tidak mengkontaminasi tumbuhan. Dalam SNI 19-7030-2004 menjelaskan bahwa kompos merupakan bentuk terakhir dari bahan – bahan organik sampah domestik setelah mengalami proses dekomposisi. Menurut Matenggomena (2013) di dalam kompos terkandung mikroorganisme yang berfungsi untuk memacu perkembangan mikroorganisme yang ada di dalam tanah, kemudian gas CO₂ yang dihasilkan mikroorganisme dapat dimanfaatkan dalam proses fotosintensis dan menghasilkan hormon pertumbuhan.

Evaluasi kinerja pengolahan limbah dibutuhkan untuk melihat sejauh mana efisiensi pengolahan dan kesesuaian limbah terhadap baku mutu (A. Utami dkk., 2019). Beberapa penelitian terdahulu sudah pernah melakukan untuk mengevaluasi IPLT. Evaluasi kinerja

pengolahan air limbah dapat dilakukan melalui pengumpulan sampel air dari setiap tahap pengolahan (Kumar dkk., 2010). Sampel air limbah biasanya diambil dari saluran masuk dan keluar, yang kemudian dibandingkan untuk mengetahui kinerja IPLT dalam mengolah limbah, Noviana (2020) mengevaluasi kinerja aset IPLT Cibeet di Kabupaten Bandung dengan menggunakan metode deskriptif, sehingga dapat menemukan bahwa dimensi teknis yang ada di IPLT Cibeet buruk dan terdapat satu unit dan fasilitas pendukung yang tidak memenuhi standar. Selain itu ditinjau dari dimensi ekonomi dan lingkungan yang ada di IPLT Cibeet juga buruk karena terjadi pencemaran kualitas air. Hasil penelitian Purba dkk. (2020) juga telah melakukan evaluasi dan optimalisasi IPLT Talang Bakung Jambi dengan hasil yang diperoleh diketahui jika kualitas efluen IPLT tidak memenuhi baku mutu untuk parameter BOD, COD, dan TSS. Beberapa hasil evaluasi telah banyak digunakan sebagai dasar optimalisasi IPLT diantaranya: penambahan petunjuk pengoperasian unit IPLT, penambahan fasilitas dan tenaga laboratorium. Keberadaan IPLT di Yogyakarta tidak hanya IPLT Banyuroto saja, tetapi juga terdapat IPLT Sewon yang terletak di Kabupaten Bantul. Sama halnya dengan IPLT Talang Bakung Jambi, hasil pengolahan di IPLT Sewon beberapa parameternya belum memenuhi baku dan tidak sesuai jika dibuang ke badan lingkungan. Arlina dkk. (2018) menjelaskan bahwa efisiensi pengolahan parameter COD, BOD, TSS, *total coliform*, dan amoniak di IPLT Sewon masih melebihi baku mutu. Selain itu debit lumpur tinja yang masuk ke IPLT Sewon sebesar 87,5 m³/hari dan melebihi kapasitas unit pengolahan lumpur tinja.

IPLT Banyuroto juga bekerja secara tidak optimal yang disebabkan adanya beberapa kendala dalam proses beroperasinya. Kendala tersebut, seperti: kapasitasnya yang sering tidak terpenuhi (*idle capacity*) karena hanya segelintir masyarakat yang memanfaatkan pengolahan di IPLT, keberadaan armada pengangkut yang kurang, keterbatasan sarana penunjang berupa laboratorium sehingga menyebabkan tidak optimalnya proses pemantauan rutin. Pemeliharaan di unit IPLT ini masih belum berjalan dengan baik, seringkali ditemukan sampah di kolam - kolam pengolahan. Sampah ini berupa sampah anorganik yang terbawa bersamaan dengan lumpur tinja. Keberadaan tumpukan padatan hasil pengolahan lumpur tinja atau *cake* dapat ditemukan di sekitar IPLT karena tidak ada pemanfaatan lanjutan dan terdapat unit bak pengolahan yang tidak berfungsi. Selain itu air hasil pengolahan yang dibuang begitu saja di atas tanah. Kondisi ini menunjukkan perlunya evaluasi kinerja unit proses IPLT Banyuroto. Tujuan penelitian ini adalah: 1) Menganalisis kinerja IPLT Banyuroto; 2) Mengidentifikasi permasalahan IPLT berdasarkan nilai efisiensi olahan dan pengaruh sisa air olahan pada tanah di sekitarnya; 3) Memberikan arahan optimalisasi yang berdasarkan kinerja dan permasalahannya.

2. METODE

2.1. Pengambilan Sampel

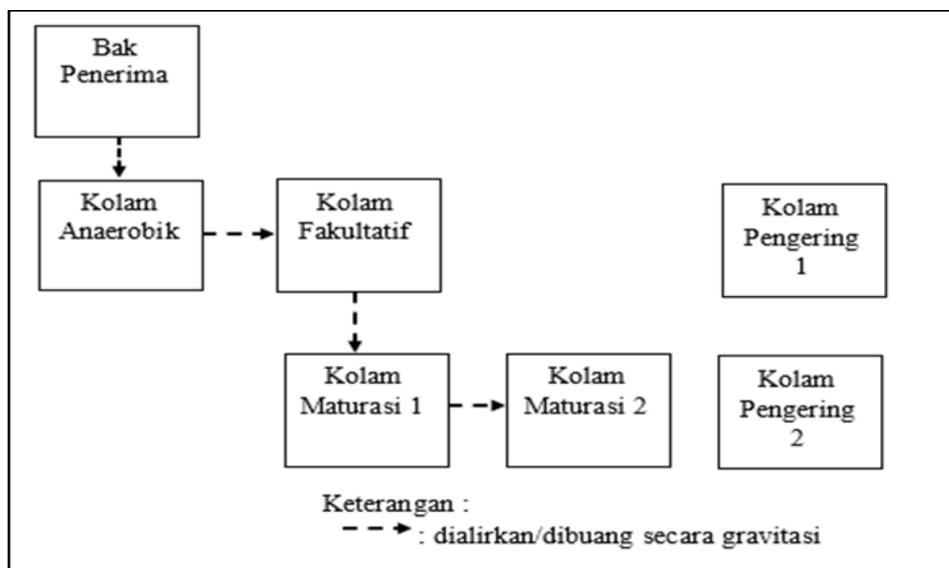
Pengambilan sampel menggunakan dua metode, yaitu metode *purposive sampling* dan *grab sampling*. Metode pengambilan sampel dengan *purposive sampling* digunakan untuk pengambilan sampel air limbah lumpur tinja dan sampel tanah. Metode *grab sampling* digunakan untuk pengambilan sampel padatan hasil pengolahan (*cake*). Ada 8 (delapan) sampel yang diambil di lokasi penelitian, terdiri dari 1 (satu) sampel padatan hasil pengolahan; 2 (dua) sampel tanah; dan 5 (lima) sampel air limbah. Waktu dan lokasi pengambilan sampel seperti yang tertera pada **Tabel 1** berikut

Tabel 1 Waktu dan Tempat Pengambilan Sampel IPLT Banyuroto

No	Tanggal	Lokasi	Sampel
1.	5 Desember 2022	LP 8 (kolam fakultatif)	Padatan hasil pengolahan
2.	28 Januari 2023	LP 12 dan LP 13	Tanah
3.	9 Februari 2023	LP 6 (<i>Inlet</i> IPLT/ <i>inlet</i> kolam anaerobik)	Air limbah
4.	16 Februari 2023	LP 7 (<i>Outlet</i> kolam anaerobik)	Air limbah
5.	21 Februari 2023	LP 9 (<i>Outlet</i> kolam fakultatif)	Air limbah
6.	27 Februari 2023	LP 10 (<i>Outlet</i> kolam maturasi 1)	Air limbah
7.	3 Maret 2023	LP 11 (<i>Outlet</i> kolam maturasi 2)	Air limbah

2.2. Pengujian Sampel

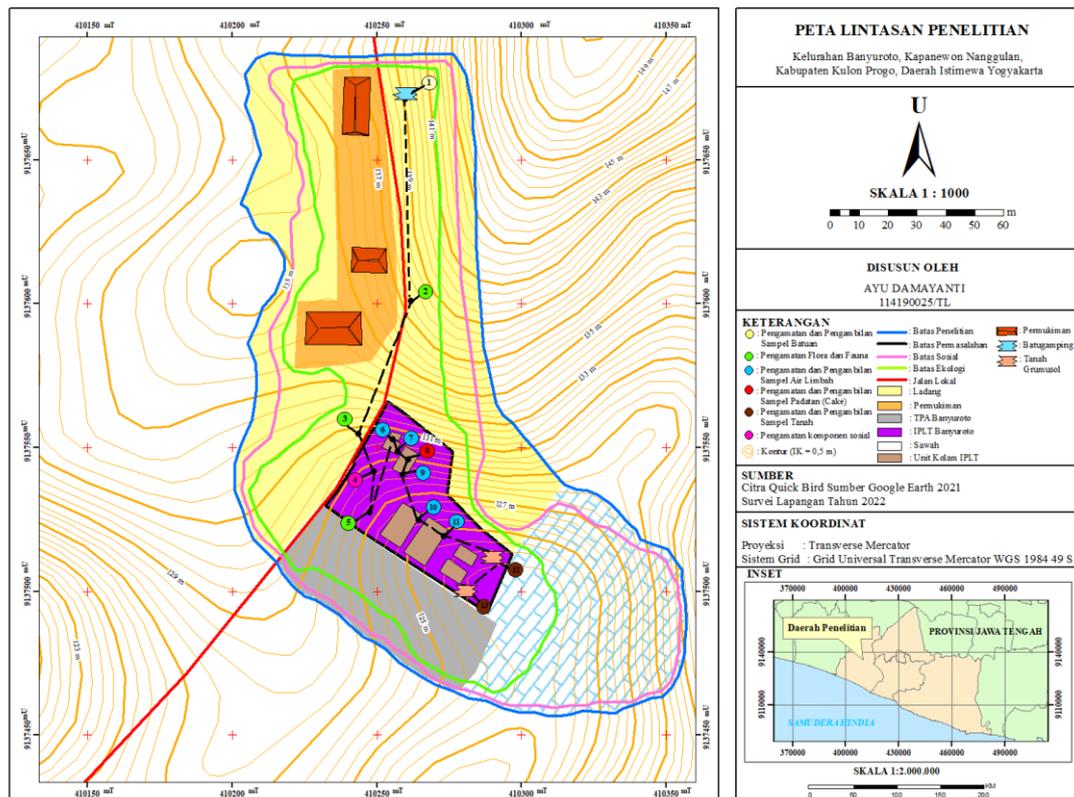
Pengujian kualitas air limbah dilakukan pada lima titik unit IPLT, diantaranya *inlet* kolam anaerobik, *outlet* kolam anaerobik, *outlet* kolam fakultatif, *outlet* kolam maturasi 1, dan *outlet* kolam maturasi 2. Parameter yang diuji seperti BOD, COD, dan *total coliform*. Metode analisis COD dilaksanakan berdasarkan SNI 6989.2-2019 sedangkan untuk BOD mengikuti SNI 6989.72-2009. Data BOD, COD, dan *total coliform* diperoleh dari hasil uji laboratorium yang dilakukan di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta. *Pengujian* sampel air limbah lumpur tinja mengacu pada baku mutu yang ada dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.



Gambar 1. Alur Pengolahan Lumpur Tinja di IPLT Banyuroto

Data yang didapatkan kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi penurunan parameter sehingga dapat diketahui kinerja unit proses IPLT Banyuroto. Pengujian kualitas tanah dilakukan dengan mengambil tanah yang berada sebelum *outlet* IPLT dan pada *outlet* IPLT. Tanah ini kemudian dilakukan pengujian terhadap parameter *total coliform* didukung dengan uji permeabilitas dan porositas. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberadaan *total coliform* pada tanah karena pembuangan air hasil olahan yang langsung

dibuang begitu saja tanpa ada uji laboratorium sebelumnya. Metode yang digunakan dalam pengujian permeabilitas tanah ini adalah metode De Booth (Darcy). Pengujian padatan hasil pengolahan diawali dengan pengambilan lumpur pada kolam fakultatif yang selanjutnya dilakukan pengeringan selama 30 hari. Hasil pengeringan kemudian dilakukan pengujian kadar air serta *fecal coli* untuk mengetahui potensinya jika dimanfaatkan sebagai bahan untuk pupuk kompos mengacu pada SNI 19-7030-2004. Alur pengolahan yang ada di IPLT Banyuroto seperti yang terlihat pada **Gambar 1** sedangkan titik pengambilan sampel seperti yang tertera pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta batasan penelitian dan Lokasi pengambilan sampel

2.3. Analisis Matematis Kualitas Air Limbah IPLT

Analisis matematis dilakukan setelah kegiatan pengumpulan data yang berupa data pengujian laboratorium terhadap air limbah lumpur tinja, tanah, dan padatan hasil pengolahan. Analisis terhadap air limbah lumpur tinja dilakukan dengan perhitungan efisiensi kinerja unit proses menggunakan data – data yang telah didapatkan. Perhitungan efisiensi seperti pada Persamaan 1 berikut

$$\text{Efisiensi} = \left(\frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100 \% \right) \dots\dots\dots \mathbf{1)}$$

Keterangan :

S_0 = konsentrasi influen

S_1 = konsentrasi efluen

Debit, volume, dan waktu pengolahan lumpur tinja di IPLT dari masing-masing unit ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2

2)

$$Q \text{ (m}^3\text{/hari)} = V/t \dots\dots\dots$$

Keterangan :

- Q = debit (m³/hari)
- V = volume limbah (m³)
- t = waktu (hari)

Selain itu juga dilakukan perhitungan proyeksi jumlah penduduk untuk mengetahui besarnya timbulan lumpur tinja yang dihasilkan oleh masyarakat Kabupaten Kulon Progo. Perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode geometrik sesuai Persamaan 3 dan 4 berikut.

$$P_n = P_o(1+r)^n \dots\dots\dots \mathbf{3)}$$

$$r = \frac{\sum \% \text{ pertumbuhan}}{(T_2 - T_1)} \dots\dots\dots \mathbf{4)}$$

Keterangan :

- P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke-n
- P_o = Jumlah penduduk pada tahun dasar
- r = Laju pertumbuhan penduduk
- n = Jumlah interval

Nilai standar deviasi proyeksi geometrik sesuai Persamaan 5

$$\sqrt{\frac{\sum (x_1 - \bar{x})^2}{n}} \dots\dots\dots \mathbf{5)}$$

Keterangan :

- x₁ = hasil proyeksi mundur geometrik
- \bar{x} = hasil rata – rata proyeksi mundur geometrik
- n = jumlah

Perhitungan perkiraan volume produksi lumpur tinja pada tahun 2023 dan 15 tahun kedepan berdasarkan perhitungan proyeksi jumlah penduduk sesuai Persamaan 6

$$V = \frac{\% \text{ pelayanan} \times P \times Q}{1000} \dots\dots\dots \mathbf{6)}$$

Keterangan :

- V = Debit total yang akan masuk ke IPLT (m³/hari)
- P = Jumlah penduduk yang dilayani (orang)
- % = Persentase pelayanan dengan menggunakan pendekatan minimal 60% (jika data jumlah sanitasi setempat sulit didapat atau diinventarisasi)
- Q = Debit timbulan lumpur tinja (0,25 L/orang/hari – 0,5 L/orang/hari)

2.4. Analisis Deskriptif Kualitas dan Evaluasi IPLT

Metode analisis deskriptif menggunakan data – data yang telah didapatkan sebelumnya, seperti data pengujian sampel dan hasil perhitungan efisiensi kinerja. Setelah didapatkan hasil efisiensi kinerja, kualitas tanah, dan kualitas padatan hasil pengolahan terhadap potensi pemanfaatan untuk pupuk kompos, maka dapat dilakukan evaluasi. Dari evaluasi ini dapat diketahui permasalahan – permasalahan yang terjadi selama berlangsungnya pengolahan di IPLT.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Potensi Timbulan Lumpur Tinja Kabupaten Kulon Progo

Pada tahun 2022 jumlah penduduk Kabupaten Kulon Progo sebesar 451.342 jiwa. Jumlahnya semakin bertambah pada tahun 2023 sebesar 458.878 jiwa dan diproyeksikan pada tahun 2038 mencapai 578.602 jiwa. Berdasarkan jumlah penduduk tersebut dapat dihitung jumlah timbulan lumpur tinja di tahun 2038 dapat mencapai 173,58 m³/hari. Artinya ada kenaikan 55,77% timbulan lumpur tinja di 15 tahun yang akan datang. Apabila ditinjau dari aturan pemakaian IPLT Banyuroto untuk wilayah Kabupaten Kulon Progo, jumlah tersebut belum sesuai dengan target kapasitas pengolahan yang saat ini hanya 6 m³/hari.

3.2 Evaluasi Kinerja Unit Pengolahan

IPLT Banyuroto terdiri atas tujuh unit pengolahan (**Gambar 1**), yaitu: bak penerima, kolam anaerobik, kolam fakultatif, kolam maturasi I dan II, dan kolam pengering I dan II. Unit bak penerima di IPLT terjadi proses pemeliharaan serta pembersihan sesaat setelah selesai menerima lumpur tinja yang diangkut oleh truk tinja. Setelah proses di bak penerima, lumpur tinja akan masuk ke kolam anaerobik. Kolam ini beroperasi tanpa adanya oksigen terlarut. Hal ini dikarenakan beban organik masih sangat tinggi. Kondisi ini membuat bakteri membutuhkan banyak oksigen untuk menguraikan limbah organik. Proses selanjutnya setelah air limbah masuk ke kolam anaerobik yaitu masuk ke kolam fakultatif. Air limbah lumpur tinja berada pada kondisi aerobik dan anaerobik di waktu yang bersamaan. Awalnya air limbah lumpur tinja akan masuk ke kolam maturasi 1 dan berlanjut ke kolam maturasi 2 yang merupakan kolam pematangan. Kolam pengering digunakan untuk mengeringkan lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan di kolam anaerobik, kolam fakultatif maupun di kolam maturasi.

Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium Air Limbah Lumpur Tinja

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Uji Laboratorium				
				Inlet Kolam Anaerobik	Outlet Kolam Anaerobik	Outlet Kolam Fakultatif	Outlet Kolam Maturasi 1	Outlet Kolam Maturasi 2
1.	COD	mg/L	100	19.595	103,5	68,3	93,5	47,1
2.	BOD	mg/L	30	4.270	18,3	13,2	23,4	13,8
3.	Total coliform	MPN/100 ml	3000	2,4×10 ¹²	1,6×10 ⁶	5,4×10 ⁴	3,3×10 ³	4,6×10 ³

Keterangan :

 = Efluen tidak sesuai atau melebihi baku mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

Evaluasi kinerja unit proses diketahui berdasarkan hasil uji parameter BOD, COD, dan total coliform air limbah lumpur tinja. Terdapat lima sampel air limbah yang diambil dari *inlet* kolam anaerobik, *outlet* kolam anaerobik, *outlet* kolam fakultatif, *outlet* kolam maturasi 1, dan *outlet* kolam maturasi 2. Nilai baku mutu digunakan untuk mengetahui kualitas efluen IPLT tepatnya berada pada *outlet* kolam maturasi 2. Hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tersebut seperti yang tertera pada **Tabel 2**.

Chemical Oxygen Demand (COD)

COD menyatakan kebutuhan oksigen dalam kondisi khusus untuk menguraikan bahan organik melalui proses kimiawi (Ramayanti dan Amna, 2019). Hasil pengujian laboratorium dan efisiensi kinerja tiap kolam berdasarkan parameter COD tertera pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Uji Laboratorium dan Efisiensi Kinerja dalam Penurunan COD

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Kolam					
			Inlet Kolam Anaerobik	Outlet Kolam Anaerobik	Outlet Kolam Fakultatif	Outlet Kolam Maturasi 1	Outlet Kolam Maturasi 2	
COD	Hasil Uji	mg/L	100	19595	103,5	68,3	93,5	47,1
	Efisiensi	%	-	-	99,47	34,01	-36,90	49,63
	Efisiensi Total	%			99,75			

Keterangan :

Bernilai negatif (-) : terjadi kenaikan konsentrasi

Berdasarkan hasil uji laboratorium seperti yang tertera pada **Tabel 3** dapat diketahui bahwa nilai COD dari efluen IPLT Banyuroto masih memenuhi baku mutu dengan efisiensi total sebesar 99,75%. Hal ini terjadi karena bahan organik didegradasi secara anaerobik. Zat organik dapat mengubah oksigen menjadi karbondioksida dan membuat kondisi perairan kekurangan oksigen (Ramayanti dan Amna, 2019). Tingginya penurunan COD ini dipengaruhi oleh aliran debit yang kecil dan membuat waktu detensi air limbah menjadi lebih lama. Lamanya waktu detensi akan membuat waktu kontak antara air limbah lumpur tinja dengan mikroorganisme yang ada di dalam kolam menjadi lama dan terjadi proses degradasi terhadap bahan pencemar organik. Kinerja mikroorganisme akan lebih baik jika waktu tinggal lebih lama (Anonim, 2017a). Pengolahan pada kolam anaerobik berlangsung selama 9 hari yang bertujuan untuk mendegradasi beban organik yang tinggi secara biologis. Air limbah ini selanjutnya akan mengalami pengolahan di kolam fakultatif selama 4 hari. Hasil uji laboratorium untuk sampel pada *outlet* kolam fakultatif diketahui konsentrasi sebesar 68,3 mg/L dengan besar efisiensi penurunan 34,01%. Selanjutnya, air limbah akan menuju kolam maturasi 1 dan terjadi pengolahan selama 5 hari. Dari hasil pengolahan dan dilakukan pengambilan sampel pada *outlet* kolam maturasi 1 diketahui besar konsentrasi COD 93,5 mg/L, yang menunjukkan terjadinya kenaikan konsentrasi COD 36,90%. Akan tetapi konsentrasi COD ini masih memenuhi baku mutu dan akan mengalami pengolahan lanjutan di kolam maturasi 2. Kenaikan konsentrasi COD menunjukkan keberadaan zat organik dalam jumlah yang besar. Selain itu kenaikan konsentrasi COD ini dapat terjadi karena pengambilan sampel yang dilakukan di sore hari. Konsentrasi oksigen terlarut yang ada di dalam air akan menurun jika memasuki waktu sore hari hingga malam hari karena dipengaruhi oleh sinar matahari yang menjadi salah satu faktor berkurangnya fotosintesis pada alga (Daroini dan Arisandi, 2020). Unit pengolahan terakhir adalah kolam maturasi 2 yang terjadi pengolahan selama 6 hari. Pengambilan sampel yang dilakukan di *outlet* kolam maturasi 2 diketahui bahwa konsentrasi COD sebesar 47,1 mg/L dengan efisiensi penurunan 49,63%.

Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD menyatakan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh suatu organisme saat memecahkan bahan organik dalam kondisi aerobik (Ramadani dkk., 2021). Hasil pengujian laboratorium dan efisiensi kinerja tiap kolam berdasarkan parameter BOD tertera pada **Tabel 4**.

Hasil uji laboratorium yang tertera pada **Tabel 4** dapat diketahui bahwa efluen IPLT Banyuroto sudah optimal dalam menurunkan konsentrasi BOD. Akan tetapi perlu diketahui besar efisiensi dari tiap unit kolamnya agar dapat diketahui permasalahan yang memungkinkan terjadi proses pengolahan secara tidak ideal. Air limbah lumpur tinja mengalami proses pengolahan selama 9 hari dan selanjutnya dilakukan pengujian terhadap sampel yang di ambil di *outlet* kolam anaerobik. Konsentrasi BOD pada *outlet* kolam

anaerobik sebesar 18,3 mg/L dengan efisiensi sebesar 99,57%. Nilai efisiensi yang mendekati 100% ini dipengaruhi oleh waktu detensi yang lebih lama yang berakibat pada waktu kontak antara mikroorganisme dengan air limbah lumpur tinja menjadi lebih lama. Air limbah ini selanjutnya akan mengalami proses pengolahan di kolam fakultatif selama 4 hari dan selanjutnya dilakukan pengambilan sampel di *outlet* kolam fakultatif yang didapatkan konsentrasi BOD sebesar 13,2 mg/L dengan efisiensi pengolahan 27,87%.

Tabel 4. Hasil Uji Laboratorium dan Efisiensi Kinerja dalam Penurunan BOD

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Kolam					
			<i>Inlet</i> Kolam Anaerobik					
BOD	Hasil Uji	mg/L	30	4270	18,3	13,2	23,4	13,8
	Efisiensi	%	-	-	99,57	27,87	-77,27	41,03
	Efisiensi Total	%			99,67			

Keterangan :

Bernilai negatif (-) : terjadi kenaikan konsentrasi

Selanjutnya, air limbah selanjutnya akan mengalami proses pengolahan di kolam maturasi 1. Di *outlet* kolam maturasi 1 dilakukan pengujian sampel dan diketahui konsentrasi BOD sebesar 23,4 mg/L yang menunjukkan kondisi kenaikan konsentrasi BOD sebesar 77,27%. Meningkatnya kadar BOD ini bisa disebabkan oleh pengambilan sampel yang dilakukan pada sore hari karena konsentrasi oksigen terlarut di dalam kolam pengolahan akan meningkat saat pagi hari dan akan mengalami penurunan pada sore hingga malam hari karena faktor penyinaran matahari yang berpengaruh pada fotosintesis alga (Anonim, 2017a). Konsentrasi oksigen terlarut yang turun pada sore hari berpotensi mengakibatkan kenaikan konsentrasi BOD karena bertambahnya kebutuhan oksigen untuk respirasi alga. Selanjutnya air limbah akan mengalami proses pengolahan di kolam maturasi 2 selama 6 hari. Di *outlet* kolam maturasi 2 didapatkan konsentrasi BOD sebesar 13,8 mg/L dengan efisiensi penurunan 41,03 %. Nilai BOD ini sudah memenuhi standar baku mutu jika air akan dibuang ke badan air atau dimanfaatkan kembali.

Total Coliform

Total coliform merupakan indikator yang dapat digunakan untuk mengetahui keterdapatn mikroba lain di dalam air, misalnya *E. coli*. Jika di dalam air terdapat kandungan *total coliform*, maka air tersebut tidak layak untuk dikonsumsi. Hasil pengujian laboratorium dan efisiensi kinerja tiap kolam berdasarkan parameter *Total coliform* seperti yang tertera pada

Tabel 5.

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang tertera pada **Tabel 5** dapat diketahui jika efluen IPLT Banyuroto sudah optimal dalam menurunkan konsentrasi *total coliform*. Pengaruh waktu detensi yang lama membuat penurunan *total coliform* pada kolam anaerobik secara signifikan. Pernyataan ini selaras dengan pernyataan yang disampaikan oleh Samina dkk. (2013) yang menyatakan bahwa berkurangnya waktu tinggal akan berpengaruh pada terjadinya proses pengurangan kandungan organik yang dilakukan oleh bakteri anaerob sehingga tidak terjadi secara optimal.

Tabel 5. Hasil Uji Laboratorium dan Efisiensi Kinerja dalam Penurunan *Total coliform*

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Kolam					
			Inlet Kolam Anaerobik					
Total coliform	Hasil Uji	MPN/100 ml	3000	$2,4 \times 10^{12}$	$1,6 \times 10^6$	$5,4 \times 10^4$	$3,3 \times 10^3$	$4,6 \times 10^3$
	Efisiensi	%	-	-	99	96,63	93,89	-39,39
	Efisiensi Total	%			99,99			

Keterangan :

■ : Efluen tidak sesuai atau melebihi baku mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
Bernilai negatif (-) : terjadi kenaikan konsentrasi

Air limbah selanjutnya akan mengalami proses pengolahan di kolam fakultatif selama 4 hari. Air limbah kemudian akan mengalami proses pengolahan selama 5 hari di kolam maturasi 1. Kolam maturasi atau kolam pematangan merupakan kolam yang digunakan untuk mengolah air limbah hasil olahan dari kolam fakultatif yang memiliki fungsi untuk menghilangkan kadar bakteri patogen. Proses degradasi ini terjadi secara aerobik yang melibatkan peran alga dan mikroba aerobik. Kolam maturasi memang dirancang untuk mengolah air limbah dengan konsentrasi organik yang jauh lebih rendah dibandingkan konsentrasi lumpur tinja saat masuk (Anonim, 2017b).

Pengolahan yang terakhir dilakukan di kolam maturasi 2 selama 6 hari dan dari hasil pengujian pada sampel *outlet* kolam maturasi 2 didapatkan hasil konsentrasi *total coliform* sebesar $4,6 \times 10^3$ MPN/100 ml yang menunjukkan terjadi kenaikan konsentrasi sebesar 39,39%. Nilai ini menunjukkan bahwa efluen masih mengandung *total coliform* yang tidak memenuhi baku mutu. Kondisi kenaikan konsentrasi *total coliform* dapat terjadi karena pengaruh terdapatnya pengendapan padatan pada kolam maturasi 2 yang tidak pernah dilakukan pengurasan, sebagaimana pernyataan Panambunan dkk. (2017) yang menyampaikan bahwa tingginya efluen akan kandungan *total coliform* disebabkan oleh terjadinya pengendapan pada kolam *outlet* yang tidak dilakukan pengurasan. Sebagai upaya menurunkan konsentrasi *total coliform*, kinerja dari tiap kolam sudah baik karena dipengaruhi oleh waktu detensi yang lama dan sesuai dengan kriteria waktu tinggal. Hanya saja perlu ditingkatkan debit influen agar waktu detensi dapat sesuai. Kondisi kolam anaerobik dan fakultatif memerlukan perawatan dengan pengangkutan endapan lumpur tinja. Selain itu pada kolam maturasi juga diperlukan pengurasan endapan lumpur tinja karena akan mempengaruhi konsentrasi *total coliform*.

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi dapat diketahui bahwa kinerja di IPLT Banyuroto sudah optimal dalam menurunkan konsentrasi parameter BOD, COD, dan *total coliform* hanya saja diperlukan upaya penanganan agar dapat bekerja secara ideal. Debit influen yang kecil membuat waktu detensi pada kolam menjadi lebih lama, sehingga menyebabkan penumpukan lumpur tinja. Keterdapatn alga di kolam maturasi perlu dilakukan pembersihan secara berkala. Selain itu perlu dilakukan pembersihan lumpur yang terendap di kolam anaerobik dan fakultatif agar tidak terjadi penyumbatan yang membuat proses pengolahan di IPLT Banyuroto terganggu. Kondisi kolam fakultatif yang hitam pekat karena keberadaan lumpur yang tidak diimbangi dengan pengangkutan lumpur sehingga tidak mendukung untuk pertumbuhan alga.

3.3 Evaluasi Kualitas Tanah Sekitar Outlet

Air hasil olahan di IPLT Banyuroto secara langsung dibuang ke tanah, hal ini berpotensi mencemari tanah di sekitarnya. Perlu diketahui kualitas tanah yang ada di IPLT Banyuroto terlebih terkait parameter yang masih belum memenuhi baku mutu salah satunya *Total Coliform*. Faktor lainnya yaitu lokasi pembuangan hasil olahan berada tidak jauh dari area persawahan warga, kondisi ini dikhawatirkan dapat mempengaruhi kualitas hasil panen di area persawahan tersebut (Gambar 2). Terdapat dua sampel tanah yang diujikan untuk mengetahui kualitas tanah, yaitu tanah sebelum *outlet* IPLT dan tanah yang berada pada *outlet*. Tanah sebelum *outlet* IPLT digunakan sebagai tanah kontrol yang fungsinya untuk membandingkan dengan tanah pada *outlet* IPLT. Hasil pengujian dua sampel tanah, dapat dilihat pada Tabel 6. Berikut.

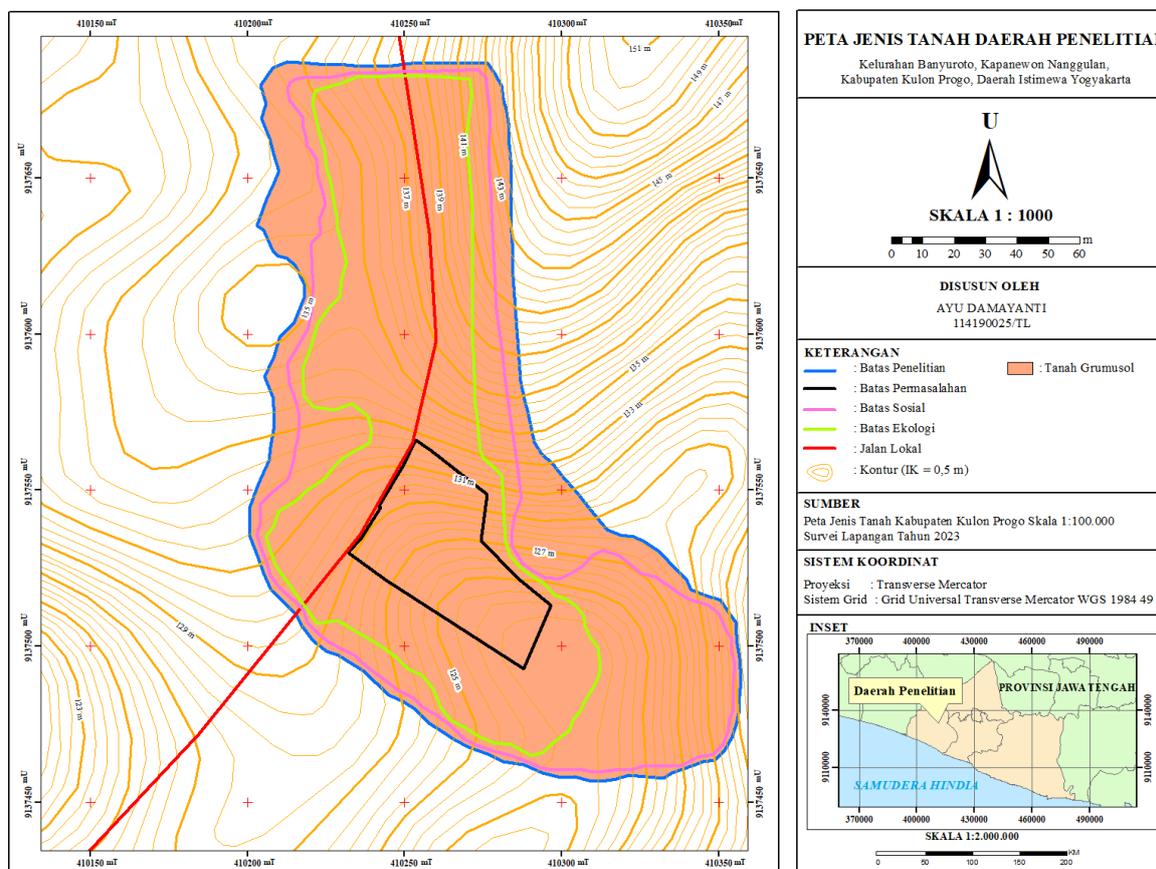
Tabel 6. Hasil Uji Laboratorium Sampel Tanah

No	Parameter	Satuan	Titik Pengambilan Sampel	
			Sebelum <i>Outlet</i> IPLT	Pada <i>Outlet</i> IPLT
1.	Permeabilitas	cm/jam	0,09	0,62
2.	Porositas	%	53,77	75,70
3.	<i>Total coliform</i>	MPN/gr total	>1.100	>1.100

Permeabilitas tanah merupakan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Hasil pengujian di laboratorium didapatkan besar permeabilitas tanah untuk tanah sebelum *outlet* IPLT Banyuroto sebesar 0,09 cm/jam dan termasuk kelas sangat lambat. Kemudian untuk tanah yang berada pada *outlet* IPLT memiliki nilai permeabilitas sebesar 0,62 cm/jam dan termasuk kelas agak lambat. Kondisi ini sesuai dengan jenis tanah yang ada di daerah penelitian yang berjenis tanah grumusol (Gambar 3). Tanah grumusol memiliki karakteristik berupa kandungan lempung lebih dari 40% dengan tekstur berupa lempungan dan lempung debu. Menurut Das (1995) lempung memiliki kemampuan permeabilitas yang sangat rendah atau sangat lambat. Tanah yang berada pada *outlet* memiliki nilai permeabilitas yang lebih tinggi daripada tanah sebelum *outlet* yang dipengaruhi oleh kondisi tanah pada *outlet* terdapat pepohonan, semak belukar, dan seresah di atasnya. Keterdapatannya sumber bahan organik di atas tanah membuat nilai permeabilitas akan jauh lebih baik. Menurut Scholes dkk. (1994) banyaknya bahan organik di dalam tanah akan menyebabkan peningkatan kadar air pada kapasitas lapang, akibat dari peningkatan pori berukuran menengah (meso) dan pori makro yang menurun.

Porositas berkaitan dengan perbandingan antara ruang pori dengan volume tanah atau menyatakan besarnya kemampuan tanah dalam menyerap air. Kondisi tanah yang semakin padat akan membuat air semakin sulit untuk terserap sehingga nilai porositas kecil. Dari hasil uji laboratorium didapatkan bahwa porositas tanah sebelum *outlet* IPLT sebesar 53,77% termasuk dalam kelas baik dan tanah pada *outlet* IPLT Banyuroto sebesar 75,70% termasuk dalam kelas porous. Tanah yang berada pada *outlet* memiliki nilai porositas lebih tinggi daripada tanah sebelum *outlet* yang dipengaruhi oleh lokasi pada *outlet* dikelilingi oleh pepohonan, semak belukar, dan seresah di atasnya. Keberadaan pepohonan, semak belukar, dan seresah menjadi sumber bahan organik apabila telah mengalami proses dekomposisi. Menurut Sutanto (2002) bahan organik mempengaruhi besarnya nilai porositas. Keberadaan bahan organik dalam partikel tanah akan membuat struktur tanah yang lebih mantap, memperbesar ruang pori, dan membantu proses granulasi tanah yang mengakibatkan terjadinya penurunan berat isi tanah serta tingkat pemadatan tanah dapat berkurang.

Keterkaitan granulasi dengan ketersediaan ruang pori berbanding lurus, semakin banyak granulasi tanah, maka ketersediaan ruang pori akan semakin banyak (Hanafiah, 2007).



Gambar 2. Peta Jenis Tanah Daerah Penelitian

Sebaran *total coliform* pada tanah di daerah penelitian termasuk kategori tinggi. Seperti yang disampaikan oleh Utami dkk. (2009) bahwa beberapa tanah di sekitar *septic tank* memiliki sebaran *total coliform* mencapai kedalaman tanah 0-2,1 m dengan kisaran jumlah *total coliform* 0-1600 MPN. Ukuran dan hubungan pori tanah memiliki peranan yang penting dalam menentukan karakteristik aliran air dan pengangkutan larutan yang ada di dalam tanah. Pori tanah yang besar dapat melakukan pengangkutan larutan yang besar (Agustin, 2007) sehingga *total coliform* di dalam tanah dapat dipengaruhi oleh permeabilitas dan porositas tanah. Akan tetapi, untuk hasil *total coliform* di daerah penelitian tidak dipengaruhi oleh permeabilitas dan porositas. Hal ini dikarenakan jarak horizontal antara sebelum *outlet* dan pada *outlet* yang lebih dari 90 cm dan tidak berada di arah aliran yang sama. Menurut Utami dkk. (2009) *total coliform* dapat berpindah secara horizontal maupun vertikal bersamaan dengan air yang meresap. Perpindahan *total coliform* secara horizontal melalui tanah <90 cm dan secara vertikal sedalam <3 m (Soeparman, 2001). Perpindahan *total coliform* secara horizontal juga dipengaruhi oleh arah aliran air.

3.3 Evaluasi Potensi Padatan Hasil Pengolahan terhadap Standar Mutu Pupuk Kompos

Padatan hasil pengolahan di IPLT Banyuroto hanya ditumpuk begitu saja tanpa ada pemanfaatan lanjutan. Padahal padatan ini dapat dimanfaatkan untuk bahan dasar pupuk

kompos, tetapi perlu diketahui kandungan yang ada di dalamnya, seperti *fecal coli*. Besarnya konsentrasi tiap parameter mengacu pada SNI 19-7030-2004 mengenai Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Proses mengetahui potensi pembuatan pupuk kompos ini perlu dilakukan pengeringan padatan hasil pengolahan selama 30 hari sebagai upaya desinfeksi alami untuk mengurangi konsentrasi *fecal coli*. Padatan diambil pada kolam fakultatif. Berdasarkan hasil pengeringan dan dilakukan uji laboratorium didapatkan konsentrasi dari tiap parameter seperti pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Uji Laboratorium Padatan Hasil Pengolahan

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Nilai	Keterangan
1.	Kadar Air	%	Maks. 50%	11,39	Memenuhi baku mutu
2.	<i>Fecal coli</i>	MPN/gr total	1000 MPN/gr total	150	Memenuhi baku mutu

Hasil uji laboratorium (Tabel 6) sudah sesuai baku mutu menurut SNI 19-7030-2004 yang menyatakan bahwa kadar air maksimal dari pupuk kompos sebesar 50%. Idealnya kadar air pada suatu proses pengomposan berkisar 40% - 60% untuk mendukung aktivitas mikroba (Mulyono, 2016). Jika kadar air berada di bawah 40% maka berdampak pada aktivitas mikroba yang mengalami penurunan dan kadar air bernilai lebih dari 60% menyebabkan terjadinya pengurangan volume udara, hara tercuci, penurunan aktivitas mikroba dan terjadi fermentasi anaerobik yang akan menimbulkan bau tidak sedap (Widarti dkk., 2015). Kadar air dari pengeringan hasil padatan pada penelitian ini memiliki nilai yang rendah karena selama proses pengeringan tidak dilakukan pengadukan sehingga perlu ditambahkan air pada padatan untuk menaikkan kadar air.

Fecal coli merupakan salah satu kelompok dari *total coliform* yang umumnya dijumpai pada kotoran hewan maupun tinja manusia. Berdasarkan hasil uji laboratorium, didapatkan bahwa kandungan *fecal coli* sudah berada di bawah ketentuan menurut SNI 19-7030-2004. Menurut Fardiaz (1993) *total coliform* terdiri dari dua kelompok, yaitu kelompok koliform fekal merupakan bakteri yang bersumber dari kotoran hewan maupun manusia seperti *Escherichia coli* sedangkan kelompok koliform non-fekal merupakan bakteri pada tumbuhan ataupun hewan yang sudah mati, seperti *Enterobacter aerogenes*. Nilai uji laboratorium terhadap *fecal coli* yang berada di bawah ketentuan menunjukkan bahwa padatan berpotensi digunakan sebagai bahan pembuatan pupuk kompos.

Pengolahan lumpur tinja tidak hanya menghasilkan air hasil olahan, tetapi juga menghasilkan padatan yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos. Ditinjau dari evaluasi kinerja unit proses pengolahan lumpur tinja di IPLT Banyuroto dapat dilakukan beberapa upaya optimalisasi, diantaranya dengan melakukan penambahan unit dan perbaikan desain yang mempertimbangkan besarnya beban lumpur tinja yang akan diolah. Jika ketersediaan lahan yang ada tidak tercukupi, maka dapat dilakukan relokasi area IPLT ke tempat yang baru dengan mempertimbangkan beberapa aspek.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi, kinerja unit proses berdasarkan parameter COD, BOD, dan *total coliform* di IPLT Banyuroto sudah berjalan dengan baik ditinjau dari besar efisiensi penurunan COD 99,75%, BOD 99,67%, dan *total coliform* 99,99%. Hasil pengolahan sudah memenuhi baku mutu untuk parameter COD dan BOD, sedangkan untuk *total coliform* masih

melebihi standar baku mutu. Kinerja tiap unit di IPLT Banyuroto sudah baik dalam menurunkan parameter BOD, COD, dan *total coliform*. Akan tetapi diperlukan upaya optimalisasi baik dari debit dan pembersihan secara berkala endapan lumpur yang ikut terbawa ke tiap kolam. Kualitas tanah yang ada dekat *outlet* unit pengolahan mengandung *total coliform* sebesar >1.100 MPN/gr total yang dapat menunjukkan adanya bakteri patogen dan mengindikasinya terjadinya pencemaran. Padatan hasil pengolahan lumpur tinja yang telah dikeringkan 30 hari berdasarkan parameter kadar air dan *Fecal coli* sudah sesuai standar baku mutu berpotensi untuk pemanfaatan pupuk kompos, dengan nilai kadar air 11,39% dan *Fecal coli* 150 MPN/gr total, tetapi membutuhkan pengolahan agar tidak menumpuk di area IPLT.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah mendanai dan mendukung proses penelitian ini. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penelitian sehingga penelitian dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, E. (2007). Penentuan Konduktivitas Hidraulik Tanah Tidak Jenuh dengan Tensiohigrometri dan Perbandingannya terhadap Model Empiris Mualem. Universitas Jember.
- Anonim. (2017a). Buku A Panduan Perhitungan Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Anonim. (2017b). Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman.
- Arisanty, D., Adyatma, S., & Huda Nurul. (2017). Analisis Kandungan Bakteri Fecal Coliform pada Sungai Kuin Kota Banjarmasin. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(2), 1. <https://doi.org/10.22146/mgi.25493>
- Arlina, D., Yulianto, A., & Rahmawati, S. (2018). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Sewon, Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/10079>
- Arsyina, L., Wispriyono, B., Ardiansyah, I., & Pratiwi, L. D. (2019). Hubungan Sumber Air Minum dengan Kandungan Total Coliform dalam Air Minum Rumah Tangga. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 14(2). <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/jkmi>,
- Daroini, T. A., & Arisandi, A. (2020). Analisis BOD (Biological Oxygen Demand) di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan. *Juvenil*, 1(4), 558–566. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i4.9037>
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. (N. E. Mochtar & I. B. Mochtar (ed.)). Erlangga.
- Fardiaz, S. (1993). *Analisis Mikrobiologi Pangan*. PT Raja Grafindo Persada.
- Hanafiah, K. . (2007). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Raja Grafindo Persada.
- Kumar, K. S., Kumar, P. S., & Babu, M. J. R. (2010). Performance Evaluation of a Wastewater Treatment Plant. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(12), 7785–7796. <https://doi.org/10.1201/b16320-227>
- Matenggomena, M. (2013). Pemanfaatan Sampah Rumah Tangga untuk Budidaya Tanaman Sayuran Organik di Pekarangan Rumah. *Agroinovasi*, XLIII, 17–23.
- Mulyono. (2016). Membuat Mikroorganisme Lokal (MOL) dan Kompos dari Sampah Rumah

Tangga. Agromedia.

- Nikuze, M. J., Niyomukiza, J. B., Nshimiyimana, A., & Kwizera, J. P. (2020). Assessment of the Efficiency of the Wastewater Treatment Plant: A Case of Gacuriro Vision City. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 448(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/448/1/012046>
- Noviana, R. (2020). Evaluasi Kinerja Aset Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Cibebet di Kabupaten Bandung. Pondasi, 25.
- Nurhidayah, Purnamasari, N., Fuadi, N., & Fitriyanti. (2022). Uji Kandungan Bakteri Total Coliform dan Escherichia Coli Air Tanah di Kabupaten Pangkep. Jurnal Sains Fisika, 2(1), 1–7. <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/sainfis>
- Panambunan, T. N. P., Umboh, J. M. L., & Sumampouw, O. J. (2017). Efektivitas instalasi pengolahan air limbah komunal domestik berdasarkan parameter kimia dan bakteri total coliform di Kelurahan Malendeng Kota Manado. Media Kesehatan, 9(3), 1–8.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. (2016).
- Purba, R., Kasman, M., & Herawati, P. (2020). Evaluasi dan Optimalisasi Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Talang Bakung Jambi. Jurnal Daur Lingkungan, 3(1), 33. <https://doi.org/10.33087/daurling.v3i1.41>
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biological Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. Indonesian Journal of Chemical Research, 6(1), 12–22. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>
- 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. Jurnal Kimia Sains dan Terapan, 1(1).
- Samina, Setiani, O., & Purwanto. (2013). Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik di Kota Cirebon terhadap Penurunan Pencemar Organik dan E-Coli. Jurnal Ilmu Lingkungan, 11(1), 36–42.
- Sapulette, J. R., Talarima, B., & Souisa, G. V. (2018). Gambaran Konstruksi Sumur Gali dan Jarak Septic Tank Terhadap Kandungan Bakteri E. Coli pada Sumur Gali. Tunas - Tunas Riset Kesehatan, 8(1), 20–28.
- Scholes, M. ., Swift, O. W. H., P.A. Sanchez, JSI. Ingram, & R. Dudal. (1994). Soil Fertility research in response to demand for sustainability. In The biological management of tropical soil fertility (Eds Woome, Pl. and Swift, MJ.). Wiley & Sons.
- Soeparman, S. (2001). Pembuangan Tinja dan Limbah Cair. Penerbit EGC.
- Sutanto. (2002). Penerapan Pertanian Organik. Kanisius.
- Umar, M. A. (2011). Peran Masyarakat dan Pemerintah dalam Pengelolaan Air Limbah Domestik di Wilayah Ternate Tengah. Iklim Geograf Indonesia, 42(5).
- Utami, A. D., M, A. D., & Bowo, C. (2009). Pola Pencemaran Bakteri Fecal Coliform pada Tanah Resapan Septic Tank Limbah Cair Rumah Sakit. Spirulina, 4(1), 1–20.
- Utami, A., Nugroho, N. E., Febriyanti, S. V., Anon, T. N., & Muhaimin, A. (2019). Evaluasi Air Buangan Domestik Sebagai Dasar Perancangan Rehabilitasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Komunal Kampung Kandang, Desa Condongcatur, Yogyakarta. Jurnal Presipitasi, 16(3), 172–179.
- Widarti, B. N., Wardhini, W. K., & Sarwono, E. (2015). Pengaruh Rasio C/N Bahan Baku pada Pembuatan Kompos dari Kubis dan Kulit Pisang. Jurnal Integrasi Proses, 5(2), 75–80.

Standar Nasional Indonesia

SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik