

EVALUASI DAN DESAIN ULANG INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH PADA RUMAH SAKIT PKU MUHAMMADIYAH SURAKARTA

Muhammad Irfan Subiyanto, Gurawan Djati Wibowo

**Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Abstrak

Limbah merupakan dampak negatif dari kemajuan yang dilakukan manusia, baik di bidang industri maupun pertanian. Salah satu pengolahan limbah di zaman modern seperti sekarang adalah menggunakan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) yang terbagi menjadi 2 jenis yaitu IPAL individu/tunggal yang biasa digunakan pada kawasan perumahan perseorangan dan IPAL Kota/kelompok yang juga digunakan pada bangunan Rusunawa Klaten. Dalam rangka mengetahui hasil pengolahan limbah tersebut sudah memenuhi standar lingkungan yang berlaku sehingga tidak merusak ekosistem alam disekitar Rusunawa Klaten, sehingga dapat terciptanya lingkungan yang sehat. Dalam mengetahui hal tersebut maka dilakukan uji lab air limbah saat memasuki keluar melalui unit IPAL. Apabila unit IPAL yang berada dilapangan masih tidak memenuhi standar lingkungan yang berlaku maka perlu dilakukannya evaluasi salah satunya dengan melakukan Re-Design. Komponen IPAL Komunal meliputi unit pengolahan limbah, jaringan pipa (tangki kendali & lubang pemeliharaan) dan sambungan rumah tangga. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode perencanaan DEWATS yang terdiri dari dual filtrasi yaitu dengan Anaerobic Baffle Reactor dan Anaerobic Biofilter. Tujuan utama penelitian ini juga menghasilkan pengujian atau evaluasi kelayakan fasilitas pengolahan air limbah yang dirancang DISPERAKIM. Beberapa kadar limbah setelah melalui uji lab di BBTCLPP Yogyakarta masih melebihi baku mutu air seperti COD 123,5 mg/l, Amonia nitrogen 20,81 mg/l dan total coliform $240,10^4$ MPN/100 ml. Setelah dilakukan penelitian, diketahui hasil analisis dan perhitungan menggunakan metode DEWATS menunjukkan efisiensi pengolahan air limbah lebih baik dibandingkan desain lapangan semula. Kesimpulan tersebut diambil dari hasil pengolahan air limbah dengan kandungan COD dan BOD masing-masing sebesar 80,19 mg/l dan 12,11 mg/l untuk filter Anaerobic Biofilter serta kandungan COD dan BOD masing-masing sebesar 64,45 mg/l dan 8,87 mg/l untuk Anaerobic Baffle Reactor. Dapat disimpulkan bahwa IPAL dengan metode DEWATS memiliki efisiensi pengolahan limbah yang lebih baik dibandingkan IPAL yang dirancang oleh DISPERAKIM Kabupaten Klaten..

Kata kunci: Evaluasi IPAL Rusunawa, Pengolahan Air Limbah, Desain ulang IPAL.

Abstact

Waste is a negative impact of human progress, both in industry and agriculture. One of the waste treatment in modern times like now is using WWTP

(Wastewater Treatment Plant) which is divided into 2 types, namely individual / single WWTP which is commonly used in individual residential areas and City / group WWTP which is also used in Klaten Rusunawa buildings. In order to find out the results of waste treatment have met the applicable environmental standards so as not to damage the natural ecosystem around Klaten Rusunawa, so that a healthy environment can be created. In knowing this, a wastewater lab test is carried out when entering out through the WWTP unit. If the WWTP unit in the field still does not meet applicable environmental standards, it is necessary to evaluate one of them by doing Re-Design. Communal WWTP components include sewage treatment units, pipelines (control tanks & maintenance holes) and household connections. In this study, the method used is the DEWATS planning method which consists of dual filtration, namely with Anaerobic Baffle Reactor and Anaerobic Biofilter. The main objective of this research is also to test or evaluate the feasibility of wastewater treatment facilities designed by DISPERAKIM. Some waste levels after going through lab tests at BBTKLPP Yogyakarta still exceed water quality standards such as COD 123.5 mg/l, Ammonia nitrogen 20.81 mg/l and total coliform 240.10^4 MPN/100 ml. After the research, it is known that the results of analysis and calculation using the DEWATS method show that the efficiency of wastewater treatment is better than the original field design. This conclusion is drawn from the results of wastewater treatment with COD and BOD contents of 80.19 mg/l and 12.11 mg/l respectively for the Anaerobic Biofilter filter and COD and BOD contents of 64.45 mg/l and 8.87 mg/l respectively for the Anaerobic Baffle Reactor. It can be concluded that the WWTP with the DEWATS method has a better waste treatment efficiency than the WWTP designed by DISPERAKIM Klaten Regency.

Keywords : Evaluation of Rusunawa IPAL, Waste Water Treatment, WWTP Re-Design.

1. PENDAHULUAN

Manusia merupakan salah satu makhluk sosial yang selalu melakukan interaksi dengan manusia lainnya. Sejak jaman dahulu manusia hidup secara berpindah – pindah dari suatu wilayah ke wilayah yang lainnya hingga hidup secara menetap di suatu wilayah seperti yang sering kita jumpai pada saat ini. Bahkan ada juga sekelompok masyarakat yang menetap/ bertempat tinggal dalam satu rumah atau bangunan seperti salah satunya yaitu di Rusunawa. Jika sekelompok masyarakat mulai menetap maka tidak akan luput dari yang namanya aktivitas keseharian, khususnya dalam hal yang dapat menyebabkan munculnya suatu limbah cair hasil dari aktivitas mereka sendiri. Limbah Cair adalah bahan sisa atau buangan dari suatu kegiatan dan proses produksi yang sudah tidak terpakai lagi serta limbah cair juga tidak memiliki nilai ekonomi dan daya guna, melainkan bisa sangat membahayakan jika sudah mencemari lingkungan sekitar.

Terutama untuk limbah yang mengandung bahan kimia yang tidak mudah terurai oleh bakteri.

Limbah merupakan dampak negatif dari kemajuan yang diperoleh manusia, baik dalam bidang industri maupun pertanian, guna meningkatkan taraf hidupnya. Sehingga, nampaknya, akan mengalami kesulitan untuk tidak menghasilkan limbah. Oleh karena itu, langkah yang terbaik kita sebagai manusia adalah mengolah limbah agar tidak menjadi bahan yang berbahaya untuk lingkungan hidup kita. Tentu kita sebagai manusia yang berakal dan taat kepada Agama akan selalu mematuhi segala aturannya, salah satu pengendalian limbah di jaman yang modern seperti sekarang ini adalah IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). IPAL dibedakan menjadi 2 jenis yaitu IPAL individual/sendiri yang biasanya digunakan pada hunian rumah tunggal dan IPAL komunal/kelompok yang digunakan pada bangunan Rusunawa Klaten ini. Komponen IPAL Komunal terdiri dari unit pengolah limbah, jaringan perpipaan (bak kontrol & lubang perawatan) dan sambungan rumah tangga.

2. METODE

2.1 Teknik Pengumpulan Data

Dalam melakukan suatu analisis diperlukan beberapa informasi atau data dan alat bantu yang memadai agar tujuan dapat tercapai. Beberapa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data jenis IPAL di Rusunawa Klaten, Kabupaten Klaten.
- b. Data kandungan limbah sebelum dan sesudah pengolahan yang berupa COD, BOD, DHL, kekeruhan, bakteri coliform, dan logam berat
- c. Data standarisasi lingkungan.

Penelitian ini menggunakan data sekunder. Data sekunder merupakan data-data yang telah diukur, diolah dan disajikan oleh pihak lain. Sumber data-data yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari:

- a. Laporan studi terdahulu
- b. Survey langsung ke lokasi

2.2 Lokasi Penelitian

2.3.4 Hasil Analisis dan Pembahasan

Didapatkan hasil analisa perhitungan sesuai dengan metode yang digunakan, kemudian dengan hasil tersebut direncanakan desain unit pengolahan limbah yang baru dengan spesifikasi sesuai hasil dari analisa perhitungan. Melakukan evaluasi terhadap semua unit pengolahan limbah manakah yang lebih efisien dalam menetralsir kandungan limbah di Rusunawa Klaten.

2.3.5 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berupa rangkuman hasil penelitian dan analisa yang telah diolah. Sedangkan, saran digunakan untuk penelitian-penelitian terkait selanjutnya.

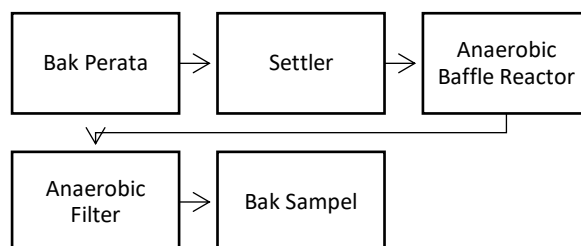
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah Rusunawa Klaten

3.1.1. Unit Rusunawa Klaten

Instalasi Pengolahan Air Limbah Rusunawa Klaten yang dirancang oleh Dinas Perumahan Dan Kawasan Pemukiman (DISPERAKIM) Kabupaten Klaten. Berdasarkan data perencanaan dan pelaksanaan yang didapat dari DISPERAKIM Kabupaten Klaten unit pengolahan limbah yang digunakan IPAL Pabrikasi dengan sistem Decentralise Wastewater Treatment System (DEWATS).

Bangunan Instalasi pengolahan air limbah di Rusunawa Klaten yang terdiri dari beberapa segmen yaitu bak perata, bak settler, bak Anaerobic Baffle Reactor, bak Anaerobic Filter, dan bak sampel. Pada data langkah pekerjaan didapati bahwa IPAL Rusunawa Klaten mampu mengolah 10m³/hari air limbah. IPAL Rusunawa Klaten dibangun pada tahun 2021. Bangunan IPAL Rusunawa Klaten yang terdiri dari 1 unit bak Perata, 1 unit bak Settler, 1 unit bak Anaerobic Baffle Reactor, 1 unit bak Anaerobic Filter, dan 1 unit bak Sampel. Dengan urutan pengolahan sesuai sketsa berikut:



Gambar 2. Sketsa Pengolahan Limbah di Rusunawa Klaten

Masing-masing segmen tersebut memiliki fungsi tersendiri yaitu diantaranya :

- a. Bak Perata, memiliki fungsi sebagai bak yang digunakan sebagai penampungan air limbah yang dibuang oleh rumah warga. Fungsi bak ekualisasi dapat menjaga kestabilan dari fluktuatifnya debit air maupun konsentrasi air yang masuk ke dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).
- b. Bak Settler, berfungsi sebagai ruang atau tempat terjadinya proses sedimentasi seperti partikel lumpur, pasir, dan kotoran organik tersuspensi
- c. Bak *Anaerobic Baffle Reactor* (ABR), memiliki fungsi sebagai pengolahan air limbah tersuspensi anaerobik dan memiliki kompartemen-kompartemen yang dibatasi oleh sekat vertikal. Serangkaian sekat vertikal di dalam ABR dapat mengkondisikan air limbah mengalir naik turun dari inlet menuju outlet, sehingga terjadi kontak antara limbah cair dengan biomassa aktif.
- d. Bak *Anaerobic Filter*, berfungsi sebagai pengolahan limbah menggunakan media terlekat pada biofilter. Pengolahan limbah ditandai dengan tumbuhnya biofilm yang menempel pada biofilter. Mikroorganisme dalam anaerobic filter menggunakan bahan organik dalam air limbah sebagai sumber untuk melakukan proses metabolisme sehingga menghasilkan perumbuhan biomassa yang optimum. Pertumbuhan biomassa dalam anaerobic filter akan menghasilkan penebalan biofilm pada biofilter dan mampu mengurangi konsentrasi bahan organik dalam limbah.
- e. Bak Sampel, memiliki fungsi sebagai tempat penampungan limbah terakhir sebelum dibuang ke lingkungan sekitar dan juga sebagai tempat pengambilan sampel air hasil pengolahan limbah.

Dimensi dari masing-masing unit atau segmen pengolahan limbah dapat dilihat padatable berikut

Tabel 1. Dimensi IPAL Rusunawa Klaten.

Segmen Pengolahan	Dimensi (m)			Jumlah Unit
	Panjang	Lebar	Kedalaman	
Bak Perata	2,84	0,8	1	1
Settler	2,1	1,75	1,65	1
Anaerobic Baffle	2	1,4	1,5	1

Reactor				
Anaerobic Filter	2	1,4	1,5	1
Bak Sampel	0,42 (Diameter)		0,66	1

3.1.2. Jumlah Pengguna

Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik di Rusunawa Klaten digunakan untuk melayani 48 unit rumah di Blok B Rusunawa Klaten. Apabila 1 unit rumah diperkirakan 1 kartu keluarga dengan rata-rata terdiri dari 2 jiwa maka jumlah penduduk yang direncanakan kurang lebih sebesar 96 jiwa. Jumlah pengguna dari IPAL Rusunawa Klaten per November 2022 sebanyak 48 unit rumah.

3.1.3. Debit Air Limbah

Debit air limbah Instalasi Pengolahan Air Limbah Rusunawa Klaten saat ini berdasarkan data jumlah penggunaannya diperkirakan sebesar 11520 liter/hari atau 11,52 m³/hari.

3.1.4. Kandungan Air Limbah IPAL Rusunawa Klaten

Melalui hasil uji laboratorium yang dibantu oleh Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan Dan Pengendalian Penyakit (BBTKLPP) Yogyakarta didapatkan data karakteristik air limbah domestik di Rusunawa Klaten dapat dilihat pada Tabel V.1 Karakteristik Air Limbah Domestik Rusunawa Klaten.

Tabel 2. Karakteristik Air Limbah Domestik Rusunawa Klaten

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji		Metode Uji
			Inlet	Outlet	
1	pH*	-	7,2	6,9	SNI 06-6989.11-2019
2	COD*	mg/L	879,8	123,5	SNI 6989.2-2019
3	BOD ₅ *	mg/L	177	30	SNI 6989.72-2009
4	MBAS	mg/L	5,0987	1,7533	IK/BBTKLPP/3-K/Pj-C.31
5	Amonia Nitrogen*	mg/L	26,3202	20,8115	SNI 06-6989.30-2005
6	Suhu*	°C	27	27	SNI 06-6989.23-2005
7	Residu Terlarut (TDS)	mg/L	305	144	In House Methode
8	TSS	mg/L	293	6	In House Methode
9	Tembaga (Cu)*	mg/L	0,0724	<0,0060	SNI 6989.84-2019
10	Seng (Zn)*	mg/L	1,3784	0,0434	SNI 6989.84-2019
11	Total Coliform*	MPN/100ml	240.10 ¹³	240.10 ⁴	APHA 2017 section 9221-B

Dari data hasil uji laboratorium diketahui bahwa sebagian besar parameter sudah memenuhi standar lingkungan PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR P.68/Menlhk-Setjen/2016 yang berlaku seperti pH, BOD, MBAS, suhu, Residu Terlarut (TDS), TSS, tembaga, dan seng. Akan tetapi masih ada beberapa parameter yang jumlah kandungannya masih melebihi batas kadar maksimum standar lingkungan yang berlaku diantaranya yaitu COD, Amonia Nitrogen, dan Total Coliform. Untuk hasil uji limbah yang telah memenuhi atau masih melebihi batas kadar maksimum yang berlaku dapat dilihat

pada table berikut

Tabel 3. Karakteristik Air Limbah dengan Batas Standar Lingkungan.

Parameter	Hasil Uji		Kadar Maks*
	Inlet	Outlet	
pH*	7,2	6,9	6,0-9,0
COD*	879,8	123,5	80
BOD ₅ *	177	30	50
MBAS	5,0987	1,7533	10
Amonia Nitrogen*	26,3202	20,8115	10
Suhu*	27	27	38
Residu Terlarut (TDS)	305	144	2000
TSS	293	6	30
Tembaga (Cu)*	0,0724	<0,0060	-
Seng (Zn)*	1,3784	0,0434	-
Total Coliform*	240.10 ¹³	240.10 ⁴	5000

3.1.5. Metode Penyelesaian Terhadap Pengolahan Limbah

Terdapat beberapa solusi atau metode dalam menangani permasalahan pengolahan air limbah domestik agar air limbah yang dibuang ke lingkungan sekitar tidak membahayakan kelangsungan hidup mahluk lainnya, diantaranya sebagai berikut:

- Menggunakain metode pengolahan terpisah, di mana apabila limbah *greywater* dan limbah *blackwater* masih menggunakan unit pengolahan limbah terpusat atau campuran maka metode ini bisa menjadi salah satu solusi dimana secara singkat blackwater akan dialirkan ke unit tersendiri seperti *septic tank* sehingga unit pengolahan air limbah hanya akan mengolah limbah greywater saja sehingga dapat mengurangi secara signifikan kandungan – kandungan berbahaya pada air limbah.
- Re-Design*, metode ini dilakukan dengan peninjauan kembali terhadap desain awal unit pengolahan air limbah apabila setelah melewati uji lab hasil limbah yang telah diolah masih belum memenuhi standarisasi lingkungan yang berlaku maka dilakukannya perencanaan ulang model unit instalasi pengolahan air limbah berdasarkan buku DEWATS 2009 sehingga dapat terealisasikan unit pengolahan limbah yang lebih efisien. Metode ini juga yang akan saya gunakan dalam penelitian kali ini.

3.2 Instalasi Pengolahan Air Limbah Rusunawa Klaten

3.2.1. Jumlah Penduduk Di Lapangan

Evaluasi dilakukan berdasarkan data jumlah penduduk pada bulan November tahun 2022 untuk menyesuaikan keadaan dilapangan pada saat ini, yaitu sebesar 96 jiwa (Administrasi Rusunawa Klaten). Jumlah ini akan digunakan dalam perhitungan debit

perencanaan.

3.2.2. Debit Perencanaan

Dalam analisa ini perencanaan debit air limbah yang akan diolah oleh IPAL Rusunawa Klaten merupakan presentase air limbah terhadap air bersih yaitu sebesar 80% dari kebutuhan air bersih yang dihitung per kapital per hari (SNI 8455, 2017). Pemakaian air bersih untuk rumah tinggal menurut SNI 2398:2017 sebesar 150 liter/penghuni/hari. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh debit air limbah sebesar 11,52 m³/hari dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. Produksi Air Limbah Per Kapita.

Jumlah Pengguna	Penggunaan air bersih per kapita	Debit air limbah harian
96	150 lt/hari	11,52 m ³ /hari
range - >	50 - 300	

Dengan :

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Pengguna} &= 96 \text{ jiwa} \\ \text{Penggunaan air bersih per kapita} &= 150 \text{ liter/hari} \\ \text{Debit air limbah harian} &= 80\% \times 96 \text{ jiwa} \times 150 \text{ liter/hari} \\ &= 11520 \text{ liter/orang/hari} \\ &= 11,52 \text{ m}^3/\text{orang/hari}\end{aligned}$$

3.2.3. Perhitungan Desain IPAL yang direncanakan

Pada penelitian kali ini akan direncanakan bangunan instalasi pengolahan limbah yang berpacu pada buku “Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries” tahun 2009 oleh Bernd Gutter, Ludwig Sasse, Thilo Panzerbieter dan Thorsten Reckerzügel. Pada perencanaan kali ini saya akan mencoba menggunakan 2 tipe atau metode pengolahan air limbah, diantaranya yaitu Anaerobic Baffle Reactor (ABR) dan Anaerobic Filter (AF).

Berdasarkan pada acuan buku DEWATS untuk perencanaan dimensi unit Anaerobic Baffle Reactor (ABR) dan Anaerobic Filter (AF) harus melalui beberapa tahapan dengan menentukan nilai COD inflow, BOD inflow, waktu pengaliran air limbah harian, rasio settleable SS/COD, temperatur air limbah, jangka waktu pengurasan dan HRT. Data COD dan BOD inflow didapatkan dari hasil uji sampel air limbah yang didapat dari inlet IPAL Rusunawa Klaten yang telah diuji di laboratorium BBTKLPP Yogyakarta pada September 2022.

3.2.3.1 Anaerobic Baffle Reactor (ABR) Parameter yang digunakan :

Debit air limbah harian (Q_{ab})	= 11,52 m ³ /hari
Waktu sebagian besar aliran air limbah	= 10 jam
BOD in	= 177 mg/l
COD in	= 879,8 mg/l
Rasio settleable SS/COD	= 0,45
Suhu terendah	= 27°C

Perhitungan efisiensi bak pengendap (settler) Parameter yang digunakan :

Hydraulic Retention

Time (HRT)	= 1,5 jam
Waktu Pengurasan	= 24 bulan
Lebar bagian dalam	= 2 m
Kedalaman muka air pada outlet	= 1,2 m

Debit aliran saat jam puncak

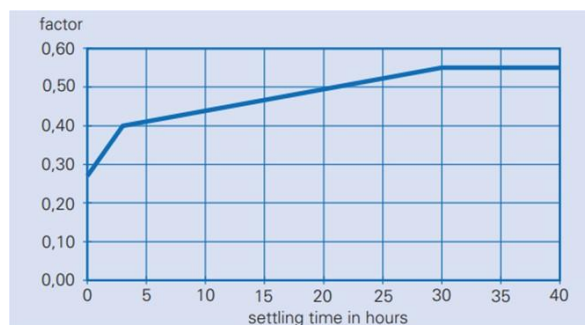
$$\begin{aligned}
 \text{a. } Q_{\text{peak}} &= \frac{Q_{ab}}{(\text{Waktu sebagian besar aliran air limbah})} \\
 &= \frac{11,52 \text{ m}^3/\text{hari}}{(10 \text{ jam}/\text{hari})} \\
 &= 1,152 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

b. Rasio COD/BOD

$$\begin{aligned}
 \frac{COD}{BOD} &= \frac{879,8 \text{ mg/l}}{177 \text{ mg/l}} \\
 &= 4,97
 \end{aligned}$$

c. Menentukan penyisihan polutan organik

Faktor yang digunakan dalam menentukan presentasi penyisihan COD diperoleh dari gambar 3 Penyisihan COD di bak settler.



Gambar 3. Penyisihan COD di bak settler

sumber : (Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Dikarenakan setelah melakukan pengkajian ulang pada persamaan yang tercantum pada buku DEWATS didapatkan bahwasanya hasil dari persamaan tersebut jika diaplikasikan masih belum sesuai dengan grafik diatas makadari itu saya akan mengubah rumus ini menggunakan persamaan Interpolasi seperti dibawah ini. Setelah meninjau persamaan yang tertera di buku DEWATS, kami menemukan bahwa ketika kami menerapkan persamaan tersebut, hasilnya tidak sesuai dengan grafik di atas, sehingga kami memodifikasi menggunakan rumus interpolasi di bawah ini.

$$y-y_1=m(x-x_1) \text{ dengan } m = (y_2-y_1)/(x_2-x_1) \quad \dots(1)$$

maka persamaan interpolasi:

$$y-y_1=(y_2-y_1)/(x_2-x_1) (x-x_1) \quad \dots(2)$$

Data x_1, y_1, x_2, y_2 didapatkan dari koordinat dari grafik (Persamaan interpolasi akan digunakan pada beberapa perhitungan DEWATS yang menggunakan rumus excel IF)

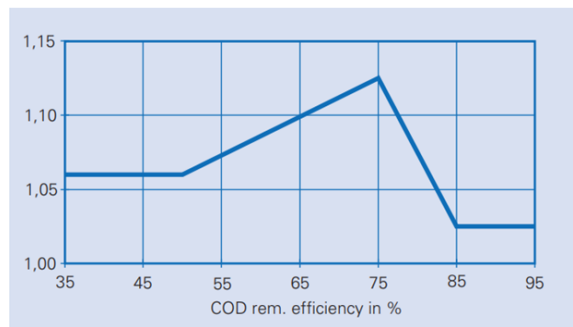
$$\begin{aligned} \text{Jika HRT} < 1, \quad \text{faktor} &= 0,28 \\ \text{Jika HRT diantara 1 dengan 3, faktor} &= y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \\ &= y - 0,28 = \frac{0,40 - 0,28}{3 - 1} (x - 1) \\ &= y = \frac{0,12}{2} (x - 1) + 0,28 \\ \text{Jika HRT diantara 3 dengan 30, faktor} &= y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \\ &= y - 0,40 = \frac{0,55 - 0,40}{30 - 3} (x - 3) \\ &= y = \frac{0,15}{27} (x - 1) + 0,40 \\ \text{Jika HRT} > 30, \quad \text{faktor} &= 0,55 \end{aligned}$$

COD Effluen dari bak pengendap (settler)

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{out}} &= \text{COD}_{\text{in}} \times (1 - \text{penyisihan COD}) \\ &= 879,8 \text{ mg/l} \times (1 - 23,25\%) \\ &= 675,24 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

Tingkat penyisihan BOD berdasarkan penyisihan COD

Faktor yang digunakan dalam menentukan presentase penyisihan BOD diperoleh dari gambar 4 Rasio efisiensi dari penyisihan BOD berdasarkan penyisihan COD.



Gambar 4. Grafik rasio efisiensi dari penyisihan BOD berdasarkan penyisihan COD

sumber : (Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Penyelesaian akan menggunakan persamaan interpolasi

$$\begin{aligned}
 &\text{Jika CODrem} < 50\%, \text{ faktor} &&= 1,06 \\
 &\text{Jika CODrem } 50\% < 75\%, \text{ faktor} &&= y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \\
 &&&= y - 1,06 = \frac{1,125 - 1,06}{0,75 - 0,50} (x - 50) \\
 &&&= y = \frac{0,065}{0,25} (x - 50) + 1,06 \\
 &\text{Jika CODrem } 75\% < 85\%, \text{ faktor} &&= y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \\
 &&&= y - 1,125 = \frac{1,025 - 1,125}{0,85 - 0,75} (x - 0,75) \\
 &&&= y = \frac{-0,100}{0,1} (x - 0,75) + 1,125 \\
 &\text{Jika CODrem} > 85\%, \text{ faktor} &&= 1,025 \\
 &\text{Penyisihan COD (CODrem)} &&= 23,25\% \\
 &&&= 0,2325 \\
 &\text{Maka faktor efisiensi rasio BOD} &&= 1,06 \\
 &\text{Tingkat penyisihan BOD} &&= \text{tingkat CODrem} \times \text{faktor BODrem} \\
 &&&= 0,2325 \times 1,06 \\
 &&&= 0,2464 \\
 &&&= 24,64\%
 \end{aligned}$$

- BOD effluen dari bak pengendap (settler)

$$\begin{aligned}
 \text{BODout} &= \text{BODin} \times (1 - \text{penyisihan BOD}) \\
 &= 177 \times (1 - 0,2464) \\
 &= 133,37 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

- BOD terolah

$$\begin{aligned}
 \text{BOD terolah} &= \text{BODin} - \text{BODout} \\
 &= 177 - 133,37 \\
 &= 43,63 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

- Rasio COD/BOD setelah pengendapan

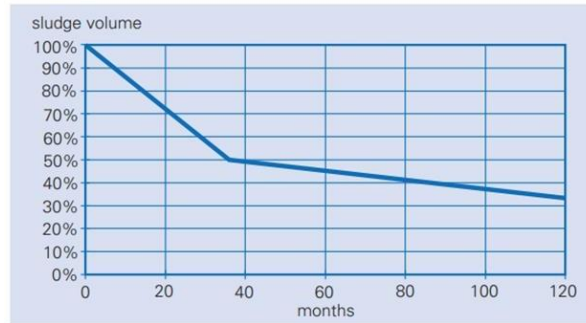
$$\begin{aligned}
 \frac{\text{COD}}{\text{BOD}} &= \frac{675,24}{133,37} \\
 &= 5,062
 \end{aligned}$$

d. Menghitung volume lumpur

- Akumulasi lumpur berdasarkan faktor reduksi lumpur selama

pengendapan

Faktor yang digunakan dalam menentukan akumulasi lumpur diperoleh dari Gravigambar 5 grafik reduksi volume lumpur selama pengendapan.



Gambar 5. Grafik reduksi volume lumpur selama pengendapan

sumber : (Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika waktu pengurasan < 36 bulan,

$$\text{faktor} = 1 - \text{HRT} \times 0,014$$

Jika waktu pengurasan < 120 bulan,

$$\text{faktor} = 0,5 - (\text{HRT} - 36) \times 0,002 \text{ Jika waktu pengurasan} \geq 120 \text{ bulan,}$$

$$\text{faktor} = 1/3$$

Waktu pengurasan = 24 bulan

Maka faktor reduksi volume lumpur

$$= 1 - \text{waktu pengurasan} \times 0,014$$

$$= 1 - 24 \times 0,014$$

$$= 0,664$$

Akumulasi Lumpur

$$= 0,005 \times \text{faktor reduksi lumpur}$$

$$= 0,005 \times 0,664$$

$$= 0,00332 \text{ l/g BODrem}$$

e. Menghitung panjang bak pengendap (settler)

Jika tingkat penghapusan BOD dalam

settler > 0 maka :

$$= ((\text{akumulasi lumpur} \times \frac{\text{BODin} - \text{BODoutsettler}}{1000} \times 30 \times \text{penyedotan}$$

$$\text{interval} \times Q_{ab} + \text{HRT} \times Q_{\text{peak}}$$

jika hasil diatas $< 2 \times \text{HRT} \times Q_{\text{peak}}$; maka menggunakan rumus : 2

$\times \text{HRT} \times Q_{\text{peak}} / \text{lebar settler} / \text{tinggi settler}$

$$= 0,0032 \times \frac{177 \text{ mg/l} - 133,37 \text{ mg/l}}{1000} \times 30 \times 24 \text{ bulan} \times 11,52 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,5$$

$$\text{jam} \times 1,152 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 2,92 < 2 \times 1,5 \times 1,152$$

$$= 2,92 < 3,45$$

Maka panjang settler

$= 2 \times \text{HRT} \times Q_{\text{peak}} : \text{lebar settler} : \text{tinggi settler}$

$$= 2 \times 1,5 \text{ jam} \times 1,152 \text{ m}^3/\text{jam} : 2 \text{ m} ; 1,5 \text{ m}$$

$$= 1,152 \text{ m} \rightarrow 1,2 \text{ m}$$

1) Perhitungan Anaerobic Baffle Reactor (ABR)

Parameter yang digunakan :

Kedalaman muka air pada outlet = 1,5 m Kecepatan up-flow = 1,8 m/jam

Jumlah ruang up-flow = 5 buah

Analisa Perhitungan :

2a. CODin dan BODin

Diperoleh dari COD dan BOD setelah melalui pengolahan dari bak settler

$$\text{CODin} = 675,24 \text{ mg/l}$$

$$\text{BODin} = 133,37 \text{ mg/l}$$

2b. Debit aliran saat jam puncak

$$Q_{\text{peak}} = 1,152 \text{ m}^3/\text{jam}$$

2c. Menghitung panjang maksimal yang dibutuhkan untuk kompartemen

Panjang yang dibutuhkan

$$= \text{Kedalaman di outlet} \times 0,5$$

$$= 1,5 \times 0,5$$

$$= 0,75 \text{ m (tidak boleh melebihi setengah kedalaman)}$$

2d. Menghitung lebar minimal yang dibutuhkan untuk

kompartemen

Lebar yang dibutuhkan

$$= Q_{\text{peak}} / (\text{kecepatan upflow} \times \text{panjang kompartemen})$$

$$= 1,152 / (1,8 \text{ m/jam} \times 0,75 \text{ m})$$

$$= 0,853 \text{ m}$$

$$= 1 \text{ m (digenapkan)}$$

Lebar kompartemen yang dipilih adalah 1 m

2e. Menghitung kecepatan up-flow sebenarnya

Kecepatan up-flow

$$= Q_{\text{peak}} / (\text{Panjang} \times \text{lebar kompartemen})$$

$$= (1,152 \text{ m}^3/\text{jam}) / (0,75 \text{ m} \times 1 \text{ m})$$

$$= 1,536 \text{ m/jam}$$

2f. Menghitung jumlah kompartemen

Dicoba 5 kompartemen dan cek total BOD pada outlet, jika diperlukan kompartemen tambahan untuk memenuhi standar COD dan BOD effluen, gunakan 6 atau 7 kompartemen.

Jumlah kompartemen yang dicoba = 5

2g. Menghitung volume total kompartemen

Volume ABR = (panjang + lebar downflow) x lebar x kedalaman x jumlah kompartemen

$$= (0,25 + 0,75) \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1$$

$$= 7,5 \text{ m}^3$$

2h. Menghitung Hydraulic Retention Time (HRT)

$$\begin{aligned} \text{Total HRT} &= \frac{\text{volume ABR}}{\frac{Q_{ab}}{24} \times 105\%} \\ &= \frac{6 \text{ m}^3}{\frac{1,152 \text{ m}^3/\text{hari}}{24} \times 105\%} \\ &= 14,88 \text{ jam} \rightarrow 15 \text{ jam} \end{aligned}$$

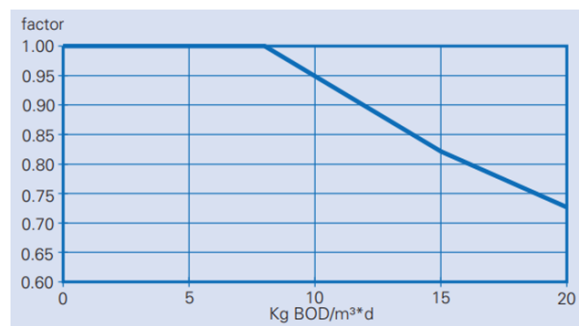
2i. Menghitung penyisihan polutan organik

Beban organik BOD

$$\begin{aligned}
&= \frac{6m^3}{\frac{1,152m^3/hari}{24} \times 105\%} \\
&= \frac{675,24mg/l \times 1,152m/hari \times 24}{7,5m^3 \times 1000} \\
&= 2,489 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}
\end{aligned}$$

- Faktor organic overload (f-overload)

Dalam menentukan faktor organic overload diperoleh dari pengaruh organic overloading pada penyisihan BOD. Pada analisa ini akan menggunakan persamaan Interpolasi sesuai dengan gambar 6



Grafik gambar 6. pengaruh organic overloading pada penyisihan BOD

sumber : (Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika beban < 8, faktor = 1

Jika beban 8 - 15, faktor

$$= y - y_1 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 0,825 = (1 - 0,825) / (8 - 15) (x - 15)$$

$$= y = 0,175 / 7 (x - 15) + 0,825$$

Jika beban 15 - 20, faktor

$$= y - y_1 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 0,725 = (0,825 - 0,725) / (15 - 20) (x - 20)$$

$$= y = 0,100 / 5 (x - 20) + 0,725$$

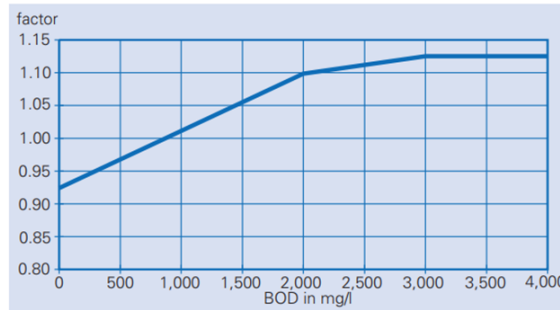
Beban organik (BOD) = 2,513 kg/m³.hari

Maka faktor organic overload (f-overload) = 1

- Faktor Streght (f-streght)

Kaitannya dengan limbah, streght merupakan tingkat pencemaran. Dalam menentukan faktor streght diperoleh dari gambar 7 penyisihan COD berdasarkan

tingkat pencemaran. Pada analisa ini menggunakan persamaan Interpolasi sesuai dengan data pada grafik.



Gambar 7. penyisihan COD berdasarkan tingkat pencemaran

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika COD_{in} < 2000, faktor

$$\begin{aligned}
 y - y_1 &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \\
 y - 0,925 &= \frac{1,10 - 0,925}{2000 - 0} (x - 0) \\
 y &= \frac{0,172}{2000} (x - 0) + 0,925
 \end{aligned}$$

Jika COD_{in} 2000 - 3000, faktor

$$\begin{aligned}
 y - y_1 &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \\
 y - 1,10 &= \frac{1,125 - 1,10}{3000 - 2000} (x - 2000) \\
 y &= \frac{0,025}{1000} (x - 2000) + 1,10
 \end{aligned}$$

Jika COD_{in} > 3000, faktor = 1,125

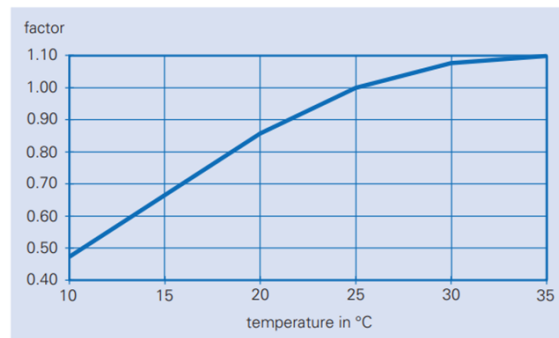
COD_{in} = 675,24 mg/l

Faktor streght (f-streght)

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{0,172}{2000} (675,24 - 0) + 0,925 \\
 &= 0,984
 \end{aligned}$$

- Faktor temperature (f-temp)

Dalam menentukan faktor temperature didapatkan dari Grafik V.6 penyisihan BOD tergantung pada suhu. Analisa ini akan menggunakan persamaan Interpolasi sesuai data pada grafik.



Gambar 8. penyisihan BOD tergantung pada suhu

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika temperatur air limbah < 20, maka :

$$\text{Faktor} = y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$= y - 0,48 = \left(\frac{0,85 - 0,48}{20 - 10} \right) (x - 10)$$

$$= y = \frac{0,85 - 0,48}{20 - 10} (x - 10) + 0,48$$

Jika temperatur air limbah diantara 20 < 25, maka :

$$\text{Faktor} = y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$= y - 0,85 = \frac{1,00 - 0,85}{25 - 20} (x - 20)$$

$$= y = \frac{0,15}{5} (x - 20) + 0,85$$

Jika temperatur air limbah diantara 25 < 30, maka :

$$\text{Faktor} = y - y_1 = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) (x - x_1)$$

$$= y - 1,00 = \frac{1,08 - 1,00}{30 - 25} (x - 25)$$

$$= y = 0,08/5 (x - 25) + 1,00$$

Jika temperatur air limbah diantara 30 < 35, maka :

$$\text{Faktor} = y - y_1 = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) (x - x_1)$$

$$= y - 1,08 = \left(\frac{1,10 - 1,08}{35 - 30} \right) (x - 30)$$

$$= y = 0,02/5 (x - 30) + 1,08$$

Jika temperatur air limbah > 30, faktor = 1,10

Temperatur air limbah = 27°C

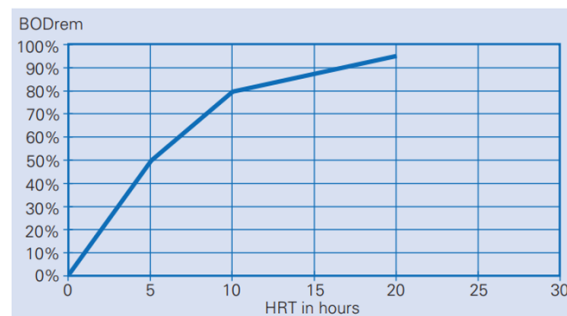
$$\text{Faktor} = y = \frac{0,08}{5} (x - 25) + 1,00$$

$$= y = \frac{0,08}{5} (27 - 25) + 1,00$$

$$= y = 1,03$$

- Faktor Hydraulic Retention Time (HRT)

Dalam menentukan faktor HRT didapatkan dari penyisihan COD berdasarkan HRT. Dalam analisa ini digunakan metode Interpolasi sesuai data pada gambar berikut



Gambar 9. Grafik penyisihan COD berdasarkan HRT

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika total HRT < 5, maka faktor

$$= y - y_1 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 0\% = (50\% - 0\%) / (5 - 0) (x - 0)$$

$$= y = (50\%) / 5 (x - 0) + 0\%$$

Jika total HRT 5 < 10, maka faktor

$$= y - y_1 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 50\% = (80\% - 50\%) / (10 - 5) (x - 5)$$

$$= y = (30\%) / 5 (x - 5) + 50\%$$

Jika total HRT 10 < 20, maka faktor

$$= y - y_1 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 80\% = (95\% - 80\%) / (20 - 10) (x - 10)$$

$$= y = (15\%) / 10 (x - 10) + 80\%$$

Jika total HRT > 20, maka faktor = 95%

Total HRT = 15 jam

$$\text{Faktor} = y = (15\%) / 10 (x - 10) + 80\%$$

$$= y = (15\%) / 10 (15 - 10) + 80\%$$

$$= 0,8732 \rightarrow 87,32\%$$

Tingkat penyisihan COD berdasarkan faktor

Penyisihan COD

$$= f\text{-overload} \times f\text{-streght} \times f\text{-temp} \times f\text{-HRT}$$

$$= 1 \times 0,9840 \times 1,03 \times 0,8732$$

$$= 0,8868 \rightarrow 88,68\%$$

- Penyisihan COD pada kompartemen

Rumus mempertimbangkan pengolahan yang lebih baik dengan meningkatkan jumlah kompartemen dan membatasi efisiensi pengolahan hingga 98%.

Jika jumlah kompartemen < 7 , maka :

Tingkat penyisihan COD kompartemen

$$= f\text{-overload} \times f\text{-streght} \times f\text{-temp} \times f\text{-HRT} \times (\text{jumlah kompartemen} \times 0,04 + 0,082)$$

Jika jumlah kompartemen > 7 , maka :

Tingkat penyisihan COD kompartemen

$$= f\text{-overload} \times f\text{-streght} \times f\text{-temp} \times f\text{-HRT} \times 0,98$$

$$\text{Jumlah Kompartemen} = 5$$

Tingkat penyisihan COD kompartemen

$$= 1 \times 0,9846 \times 1,03 \times 0,8285 \times (5 \times 0,04 + 0,82)$$

$$= 0,9045 \rightarrow 90,45\%$$

CODout

$$= (1 - \text{Tingkat penyisihan COD kompartemen}) \times \text{CODin}$$

$$= (1 - 90,45\%) \times 675,24 \text{ mg/l}$$

$$= 64,45 \text{ mg/l}$$

Total penyisihan COD

$$= 1 - \text{CODout/CODin di settler}$$

$$= 1 - 64,45 \text{ mg/l} / 879,8 \text{ mg/l}$$

$$= 0,9267 \rightarrow 92,67\%$$

- Faktor penyisihan COD/BOD

Dalam menentukan faktor penyisihan COD/BOD diperoleh dari grafik V.2

rasio efisiensi dari penyisihan BOD berdasarkan penyisihan COD.

$$\text{Penyisihan COD (CODrem)} = 0,9267$$

$$\text{Maka faktor efisiensi rasio BOD} = 1,025$$

Total penyisihan BOD

$$= \text{Total penyisihan COD} \times \text{faktor penyisihan COD/BOD}$$

$$= 0,92647 \times 1,025$$

$$= 0,9499 \rightarrow 94,99\%$$

BODout

$$= (1 - \text{total penyisihan BOD}) \times \text{BODin disettler}$$

$$= (1 - 94,99\%) \times 177$$

$$= 8,86 \text{ mg/l}$$

- Penurunan Biogas

Berdasarkan asumsi 70% biogas adalah CH₄ dan 50% terlarut Biogas

$$= (\text{CODin di settler} - \text{CODout dari ABR}) \times$$

$$Q_{ab} \times 0,35 / (1000 \times 0,7) \times 0,5$$

$$= (879,8 \text{ mg/l} - 64,45 \text{ mg/l}) \times 11,52 \times (0,35 \times 0,7) / 1000$$

$$\times 0,5$$

$$= 2,34 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Setelah dilakukan analisa perhitungan diperoleh spesifikasi sistem Anaerobic Baffle Reactor (ABR) sebanyak 5 unit dengan ukuran dimensi panjang x lebar x kedalaman sebesar 0,75 m x 1 m x 1,5 m. Hasil dari analisa data – data tersebut dapat diketahui ukuran unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) melalui Tabel 5 Dimensi Unit Anaerobic Baffle Reactor (ABR).

Tabel 5. Dimensi Unit Anaerobic Baffle Reactor (ABR)

Unit Segmen	Dimensi (m)			
	Panjang	Lebar	Kedalaman	Jumlah Unit
Bak Settler (pengendap)	1,2	2	1,5	1
Anaerobic Baffle Reactor (ABR)	0,75	1	1,5	5

Dari unit pengolahan ABR tersebut menghasilkan hasil olahan limbah yang telah memenuhi standar baku mutu PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR P.68/Menlhk-Setjen/2016 terkhususnya untuk kandungan COD keluaran yang pada desain awal unit pengolahan masih sebesar 123,5 mg/l dapat diminimalisir menjadi sebesar 64,45

mg/l. Untuk kriteria lain seperti total HRT selama 15 jam, kecepatan upflow 1,536 m/jam, volume beban organik 2,48 kg/m³.hari, dan kadar kandungan BOD out sebesar 8,86 mg/l yang sudah memenuhi baku mutu serta untuk kandungan COD sebesar 119,23 mg/l yang masih melebihi baku mutu yang berlaku.

Data hasil analisa diatas dapat dilihat pada Tabel 6. Nilai Effluen Unit Anaerobic Baffle Reactor (ABR).

Tabel 6. Nilai Effluen Unit Anaerobic Baffle Reactor (ABR).

Inffluen COD	Inffluen BOD	Effluen COD	Effluen BOD
Kalkulai	Kalkulai	Kalkulai	Kalkulai
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
879,8	177	64,45	8,87

3.2.3.2 Anaerobic Filter (AF)

Parameter yang digunakan :

Debit air limbah harian (Qab) = 11,52 m³/hari

Waktu sebagian besar aliran air limbah

= 10 jam

BOD in = 177 mg/l

COD in = 879,8 mg/l

Rasio settleable SS/COD = 0,45

Suhu terendah = 27°C

1. Perhitungan efisiensi bak pengendap (settler) Parameter yang digunakan :

Hydraulic Retention Time (HRT)

= 1,5 jam

Waktu Pengurasan = 24 bulan

Lebar bagian dalam = 1,75 m

Kedalaman muka air pada outlet = 2,25 m

Perhitungan :

a. Debit aliran limbah saat jam puncak (Qpeak)

$Q_{peak} = Q_{ab} / (\text{Waktu sebagian besar aliran air limbah})$

$= (11,52 \text{ m}^3/\text{hari}) / (10 \text{ jam/hari})$

$= 11,52 \text{ m}^3/\text{hari}$

b. Rasio COD/BOD

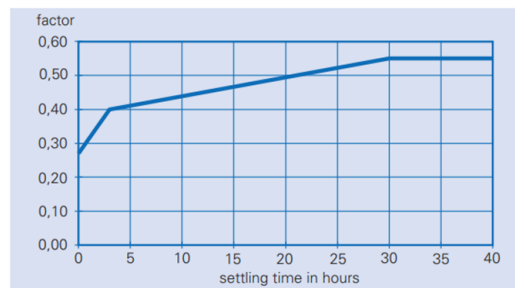
$$\text{COD/BOD} = (879,8\text{mg/l})/(177\text{mg/l})$$

$$= 4,97$$

c. Menentukan penyisihan polutan organik

- Faktor Penyisihan COD berdasarkan HRT

Faktor yang digunakan dalam menentukan persentase penyisihan COD diperoleh dari gambar 10 penyisihan COD di bak pengendap



Gambar 10. Grafik penyisihan COD di bak settler

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Hydraulic Retention Time (HRT)= 1,5 jam

Jika $\text{HRT} < 1$, faktor = 0,28

Jika HRT diantara 1 - 3,

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 0,28 = (0,40 - 0,28)/(3 - 1) (x - 1)$$

$$= y = 0,12/2 (x - 1) + 0,28$$

Jika HRT diantara 3 - 30,

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 0,40 = (0,55 - 0,40)/(30 - 3) (x - 3)$$

$$= y = 0,15/27 (x - 3) + 0,40$$

Jika $\text{HRT} > 30$, faktor = 0,55

Hydraulic retention time (HRT) = 1,5 jam

$$\text{Maka faktor COD removal} = (\text{HRT}/6) \times 0,12/2 (x - 1) + 0,28$$

$$= (1,5/6) \times 0,12/2 (1,5 - 1) + 0,28$$

$$= 0,2325$$

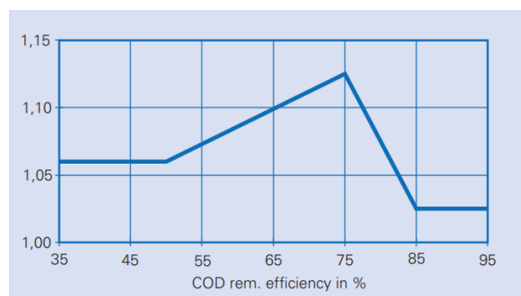
$$\text{Tingkat penyisihan COD} = 0,2325 \times 100\% = 23,25\%$$

2. COD effluen dari bak pengendap (settler)

$$\begin{aligned}\text{COD}_{\text{out}} &= \text{COD}_{\text{in}} \times (1 - \text{penyisihan COD}) \\ &= 879,8 \text{ mg/l} \times (1 - 23,25\%) \\ &= 675,24 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

3. Tingkat penyisihan BOD berdasarkan penyisihan COD

Faktor yang digunakan dalam menentukan presenrase penyisihan BOD diperoleh dari gambar 11 Rasio efisiensi dari penyisihan BOD berdasarkan penyisihan COD.



Gambar 11. Rasio efisiensi dari penyisihan BOD berdasarkan penyisihan COD

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Penyelesaian akan menggunakan persamaan Interpolasi

Jika $\text{COD}_{\text{rem}} < 50\%$, factor = 1,06

Jika $\text{COD}_{\text{rem}} 50\% < 75\%$,

$$\begin{aligned}\text{Factor} &= y - y_1 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) (x - x_1) \\ &= y - 1,06 = (1,125 - 1,06) / (0,75 - 0,50) (x - 50) \\ &= y = 0,065 / 0,25 (x - 50) + 1,06\end{aligned}$$

Jika $\text{COD}_{\text{rem}} 75\% < 85\%$,

$$\begin{aligned}\text{Factor} &= y - y_1 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) (x - x_1) \\ &= y - 1,125 = (1,025 - 1,125) / (0,85 - 0,75) (x - 0,75) \\ &= y = (-0,100) / 0,1 (x - 0,75) + 1,125\end{aligned}$$

Jika $\text{COD}_{\text{rem}} > 85\%$, faktor = 1,025

$$\begin{aligned}\text{Penyisihan COD (COD}_{\text{rem}}) &= 23,25\% \\ &= 0,2325\end{aligned}$$

Maka faktor efisiensi rasio BOD = 1,06

Tingkat penyisihan BOD

$$= \text{tingkat COD}_{\text{rem}} \times \text{faktor BOD}_{\text{rem}}$$

$$= 0,2325 \times 1,06$$

$$= 0,2464$$

$$= 24,64\%$$

4. BOD effluen dari bak pengendap (settler)

$$\text{BOD}_{\text{out}} = \text{BOD}_{\text{in}} \times (1 - \text{penyisihan BOD})$$

$$= 177 \times (1 - 0,2464)$$

$$= 133,37 \text{ mg/l}$$

5. Rasio COD/BOD setelah pengendapan

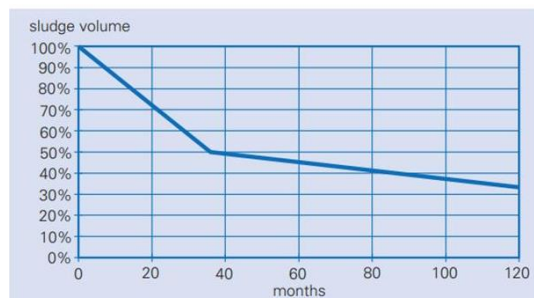
$$\text{COD/BOD} = 675,24/133,37$$

$$= 5,062$$

- Menghitung volume lumpur

1) Akumulasi lumpur berdasarkan faktor reduksi lumpur selama pengendapan.

Faktor yang akan digunakan dalam menentukan akumulasi lumpur diperoleh dari reduksi volume lumpur selama pengendapan.



Gambar 12. Grafik Reduksi volume lumpur selama pengendapan

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika waktu pengurasan < 36 bulan,

$$\text{faktor} = 1 - \text{HRT} \times 0,014$$

Jika waktu pengurasan < 120 bulan,

$$\text{faktor} = 0,5 - (\text{HRT} - 36) \times 0,002$$

Jika waktu pengurasan ≥ 120 bulan,

$$\text{faktor} = 1/3$$

Waktu pengurasan = 24 bulan

Maka faktor reduksi volume lumpur

$$= 1 - \text{waktu pengurasan} \times 0,014$$

$$= 1 - 24 \times 0,014$$

$$= 0,664$$

Akumulasi Lumpur

$$= 0,005 \times \text{faktor reduksi lumpur}$$

$$= 0,005 \times 0,664$$

$$= 0,00332 \text{ l/g BODrem}$$

BOD tersisihkan

$$= \text{BODin} - \text{BODout}$$

$$= 177 \text{ mg/l} - 133,37 \text{ mg/l}$$

$$= 43,63 \text{ mg/l}$$

$$\text{Volume lumpur} = 3,456 \text{ m}^3$$

- Menentukan panjang bak pengendap

Digunakan dua bangunan bak pengendap (settler) dengan ukuran panjang sebagai berikut :

Panjang bak pengendap 1 = $\frac{2}{3} \times (\text{volume lumpur}) / (\text{lebar} \times \text{kedalaman})$

$$= \frac{2}{3} \times (3,456 \text{ m}^3) / (1,75 \text{ m} \times 2,25 \text{ m})$$

$$= 0,585 \text{ m} \rightarrow 1 \text{ m}$$

Maka bak pengendap 1 menggunakan panjang = 1 m

Panjang bak pengendap 2

$$= \frac{\text{Panjang bak pengendap 1}}{2}$$

$$= \frac{1 \text{ m}}{2}$$

$$= 0,5 \text{ m}$$

Diketahui setelah melakukan analisa perhitungan didapatkan bak pengendap (settler) sebanyak 2 unit dengan ukuran dimensi panjang x lebar x kedalaman masing – masing sebesar 1 m x 1,75 m x 2,25 m dan 0,5 m x 1,75 m x 2,25 m.

2) Anaerobic Filter (AF)

Parameter yang digunakan :

Kedalaman tangki filter (H) = 2,25 m

Jumlah tangki filter = 7

Ruang dibawah plat berlubang = 0,6 m

Analisa Perhitungan :

a) BOD_{in} dan COD_{in}

Didapatkan dari BOD dan COD yang sudah diolah dari bak pengendap (settler)

BOD_{in} = 133,37 mg/l

COD_{in} = 675,24 mg/l

b) Debit aliran saat jam puncak

Q_{peak} = 1,152 m³/jam

c) Menghitung panjang maksimal yang dibutuhkan untuk kompartemen

Panjang yang dibutuhkan $\leq$ kedalaman tangki filter

$$\leq 2,25 \text{ m}$$

$$= 2,25 \text{ m}$$

d) Menghitung jumlah kompartemen

Dicoba dengan beberapa kompartemen dan cek total BOD pada outlet, apabila hasil outlet dari pengolahan masih belum memenuhi standar baku mutu maka dapat memperbanyak jumlah kompartemen.

Jumlah kompartemen yang dipakai = 7

e) Menghitung tinggi filter

Tinggi filter terletak 40 cm dibawah permukaan air

H_{filter} = H – R. dibawah pelat berlubang – 0,4 – 0,05

$$= 2,25 - 0,6 - 0,4 - 0,05$$

$$= 1,2 \text{ m}$$

f) Menghitung volume tangki filter

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{HRT \text{ di AF} \times Q_{ab}}{24} \\ &= \frac{48 \text{ jam} \times 11,52 \text{ m}^3/\text{hari}}{24} \end{aligned}$$

$$= 23,04 \text{ m}^3$$

g) Menghitung lebar minimal yang dibutuhkan untuk kompartemen

Lebar yang dibutuhkan =

$$\frac{\text{Volume tangki filter}}{\text{Jumlah tangki filter}} \times ((\text{kedalaman filter tangki} \times 0,25) + (\text{Panjang tangki} \times (\text{kedalaman filter tangki} - H \times (1 - \text{rongga dalam filter}))))$$

$$= \frac{23,04}{7} \times ((2,25 \times 0,25) + (2,25 \times (2,25 - 1,2 \times (1 - 35\%))))$$

$$= 0,85 \text{ m}$$

Lebar kompartemen yang dipilih adalah 0,85 m

h) Menentukan penyisihan polutan organik

Menghitung beban organik COD didalam AF

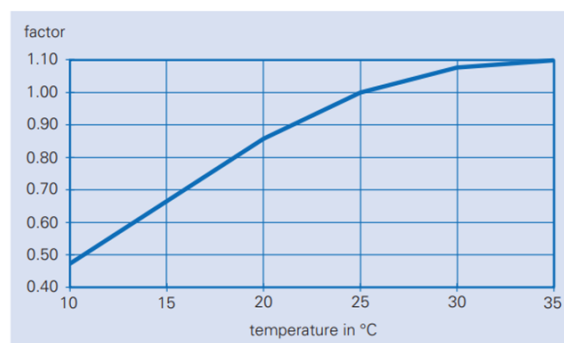
Beban Organik COD = $(\text{CODin} \times Q_{\text{peak}})/1000 \times (H_{\text{filter}} \times \text{lebar kompartemen} \times \text{panjang tangki filter} \times \text{rongga dalam filter} \times \text{jumlah filter})$

$$= (675 \times 24)/1000 \times (1,2 \times 0,85 \times 2,25 \times 7)$$

$$= 1,382 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}$$

Faktor temperature (f-temp)

Dalam menentukan faktor temperature diperoleh dari hubungan CODrem dengan temperatur di reaktor anaerobic.



Gambar 13. Grafik hubungan CODrem dengan temperatur di reaktor anaerobik

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika temperatur < 20, maka

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 0,48 = (0,85 - 0,48)/(20 - 10) (x - 10)$$

$$= y = 0,37/10 (x - 10) + 0,48$$

Jika temperatur < 25, maka

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 0,85 = (1,00 - 0,85)/(25 - 20) (x - 20)$$

$$= y = 0,15/5 (x - 20) + 0,85$$

Jika temperatur < 30, maka

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 1,00 = (1,08 - 1,00)/(30 - 25) (x - 25)$$

$$= y = 0,08/5 (x - 25) + 1,00$$

Jika temperatur < 35, maka

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 1,08 = (1,10 - 1,08)/(35 - 30) (x - 30)$$

$$= y = 0,02/5 (x - 30) + 1,08$$

Jika temperatur > 35, maka factor = 1,1

Temperatur air limbah = 27°C

Maka faktor temperature (f-temp)

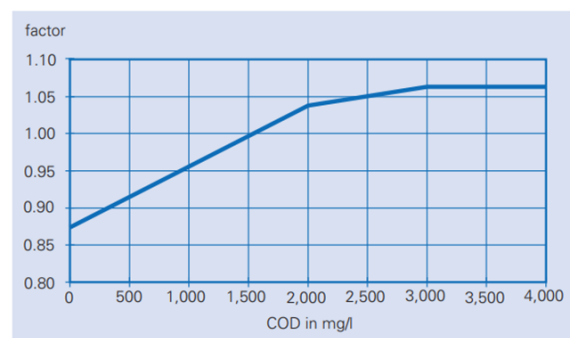
$$= y = 0,08/5 (x - 25) + 1,00$$

$$= y = 0,08/5 (27 - 25) + 1,00$$

$$= 1,032$$

Faktor strenght (f-stregh)

Dalam menentukan faktor strenght diperoleh dari CODrem dengan tingkat pencemaran air limbah pada anerobik filter.



Gambar 14. Grafik penyisihan COD berdasarkan tingkat pencemaran air limbah pada anerobik filter

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika COD_{in} < 2000,

$$\begin{aligned}\text{Factor} &= y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1) \\ &= y - 0,875 = (1,04 - 0,875)/(2000 - 0) (x - 0) \\ &= y = 0,165/2000 (x - 0) + 0,875\end{aligned}$$

Jika COD_{in} < 3000,

$$\begin{aligned}\text{Factor} &= y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1) \\ &= y - 1,04 = (1,07 - 1,04)/(3000 - 2000) (x - 2000) \\ &= y = 0,03/1000 (x - 2000) + 1,04\end{aligned}$$

Jika COD_{in} > 3000, factor = 1,07

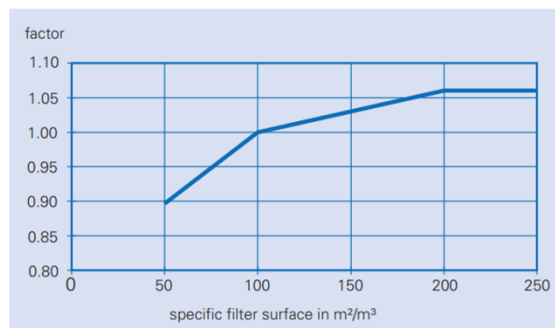
$$\text{COD}_{in} = 675,24 \text{ mg/l}$$

Faktor strength (f-strength)

$$\begin{aligned}&= y = 0,165/2000 (675,24 - 0) + 0,875 \\ &= 0,930\end{aligned}$$

Faktor surface (f-surface)

Dalam menentukan faktor surface diperoleh dari hubungan COD_{rem} berdasarkan pada luas permukaan tertentu.



Gambar 15. Grafik hubungan COD_{rem} berdasarkan pada luas permukaan tertentu

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika luas permukaan media filter 50 < 100, maka :

$$\begin{aligned}\text{Faktor} &= y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1) \\ &= y - 0,9 = (1,00 - 0,90)/(100 - 50) (x - 50) \\ &= y = 0,10/50 (x - 50) + 0,9\end{aligned}$$

Jika luas permukaan media filter < 200, maka :

$$\begin{aligned}\text{Faktor} &= y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1) \\ &= y - 1,0 = (1,06 - 1,00)/(200 - 100) (x - 100)\end{aligned}$$

$$= y = 0,06/100 (x - 100) + 1,0$$

Jika luas permukaan media filter > 200, maka :

$$\text{Faktor} = 1,06$$

$$\text{Luas permukaan media filter} = 100 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

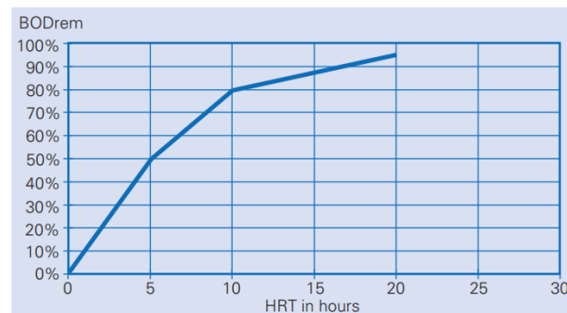
$$\text{Faktor} = y = 0,06/100 (x - 100) + 1,0$$

$$= y = 0,06/100 (100 - 100) + 1,0$$

$$= 1,0$$

Faktor Hydraulic Retention Time (f-HRT)

Dalam menentukan faktor HRT didapatkan dari penyisihan COD berdasarkan HRT. Dalam analisa ini digunakan metode Interpolasi sesuai data pada



Gambar 16. Grafik penyisihan COD berdasarkan HRT
(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Jika total HRT < 5, maka

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 0\% = (50\% - 0\%)/(5 - 0) (x - 0)$$

$$= y = (50\%)/5 (x - 0) + 0\%$$

Jika total HRT 5 < 10, maka

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 50\% = (80\% - 50\%)/(10 - 5) (x - 5)$$

$$= y = (30\%)/5 (x - 5) + 50\%$$

Jika total HRT 10 < 20, maka

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 80\% = (95\% - 80\%)/(20 - 10) (x - 10)$$

$$= y = (15\%)/10 (x - 10) + 80\%$$

Jika total HRT > 20, maka faktor = 95%

Total HRT = 48 jam

Faktor = 95%

Tingkat penyisihan COD berdasarkan faktor

Penyisihan COD

= f-temp x f-streight x f surface x f-HRT x (1 + jumlah tangki filter x 0,04))

= 1,032 x 0,930 x 1 x 0,716 x (1 + 7 x 0,04))

= 0,8812 → 88,12%

CODout = CODin x (1 – penyisihan COD)

= 675,24 x (1- 88,12%

= 80,19 mg/l

Total penyisihan COD

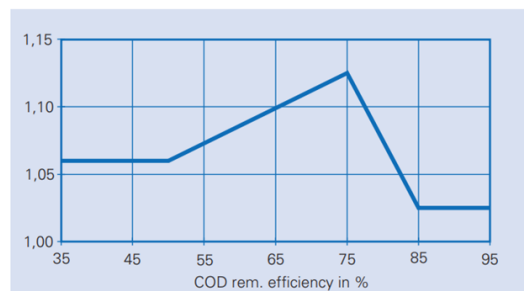
= 1 – CODout/CODin di settler

= 1 – 80,19 mg/l / 879,8 mg/l

= 0,9088 → 90,88%

Faktor Penyisihan COD/BOD

Dalam menentukan faktor penyisihan COD/BOD diperoleh dari Rasio efisiensi faktor penyisihan COD terhadap BOD.



Gambar 17. Grafik Rasio efisiensi dari penyisihan BOD berdasarkan penyisihan COD

(sumber : Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter et al, 2009)

Penyelesaian akan menggunakan persamaan Interpolasi

Jika CODrem < 50%, faktor = 1,06

Jika CODrem < 75%,

Factor = $y - y_1 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) (x - x_1)$

= $y - 1,06 = (1,125 - 1,06) / (0,75 - 0,30) (x - 50)$

$$= y = 0,065/0,25 (x - 50) + 1,06$$

Jika CODrem < 85%,

$$\text{Factor} = y - y_1 = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1) (x - x_1)$$

$$= y - 1,125 = (1,025 - 1,125)/(0,85 - 0,75) (x - 0,75)$$

$$= y = (-0,100)/0,1 (x - 0,75) + 1,125$$

Jika CODrem > 85%, faktor = 1,025

Penyisihan COD (CODrem) = 90,88%

Maka faktor efisiensi rasio BOD = 1,025

Tingkat penyisihan BOD

= tingkat CODrem x factor BODrem

$$= 0,9088 \times 1,025$$

$$= 0,9315$$

$$= 93,15\%$$

BODout

$$= (1 - \text{penyisihan BOD}) \times \text{BODin}$$

$$= (1 - 93,15\%) \times 177$$

$$= 12,11 \text{ mg/l}^3$$

Penurunan biogas

Berdasarkan asumsi 70% biogas adalah CH₄ dan 50% terlarut.

Biogas dari settler

$$= (\text{CODin di settler} - \text{CODout di settler}) \times Q_{ab} \times 0,35 / (1000 \times 0,7) \times 0,5$$

$$= (879,8 \text{ mg/l} - 675,24 \text{ mg/l}) \times 11,52 \text{ m}^3/\text{hari} \times (0,35 \times 0,7) / 1000 \times 0,5$$

$$= 0,589 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Biogas dari AF

$$= (\text{CODin di AF} - \text{CODout di AF}) \times Q_{ab} \times (0,35 \times 7) / 1000 \times 0,5$$

$$= (675,24 \text{ mg/l} - 80,19 \text{ mg/l}) \times 11,52 \text{ m}^3/\text{hari} \times (0,35 \times 7) / 1000 \times 0,5$$

$$= 1,713 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Total Produksi biogas

$$= \text{Biogas dari settler} + \text{Biogas dari AF}$$

$$= 0,589 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,713 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 2,302 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Menghitung volume beban organik filter COD

Volume beban organik

$$= \frac{COD_{in} \times AF \times Q_{ab}}{1000} \times (\text{tinggi} \times \text{rongga filter} \times \text{lebar} \times \text{panjang} \times \text{jumlah kompartemen})$$

$$= \frac{675,24 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 11,52 \text{ m}^3/\text{hari}}{1000} \times 1,2 \text{ m} \times 35\% \times 0,85 \text{ m} \times 2,25 \text{ m} \times 7$$

$$= 1,382 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}$$

Menghitung maksimal kecepatan up-flow di rongga filter

Up-flow di rongga filter

$$= Q_{\text{peak}} / ((\text{panjang} \times \text{lebar}) \times \text{kompartemen} \times \text{rongga filter})$$

$$= (1,152 \text{ m}^3/\text{h}) / (2,25 \text{ m} \times 0,85 \text{ m} \times 35\%)$$

$$= 1,72 \text{ m/h}$$

Setelah melakukan analisa perhitungan diperoleh data dimensi Anaerobic Filter (AF) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah unit AF} &= 7 \\ \text{Panjang} &= 2,25 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 0,85 \text{ m} \\ \text{Kedalaman} &= 2,25 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa perhitungan diatas dapat diketahui bahwa ukuran unit keseluruhan Instalasi Pengolahan Air Limbah Anaerobic Filter seperti pada Dimensi Unit Anaerobic Filter (AF).

Tabel 7. Dimensi Unit Anaerobic Filter (AF)

Unit Segmen	Dimensi (m)				
	Panjang		Lebar	Kedalam	Jumlah
Bak Pengendap (Settler)	Settler 1	Settler 2	2	2,25	2
	1	0,5			
Anaerobic Filter (AF)	2,25		0,85	2,25	7

Dari pengolahan limbah unit AF didapatkan hasil keluaran limbah dengan komposisi kandungan yang sudah memenuhi standar baku mutu air limbah, dimana pada desain awal unit pengolahan limbah didapati kandungan COD yang masih sangat tinggi yaitu sebesar 123,5 mg/l dapat diminimalisir menjadi sebesar 80,19 mg/l

dengan presentasi pengolahan sebesar 90,88%. Untuk perbandingan kandungan imfluen dan effluen dapat dilihat pada tabel V.8 Nilai Effluen Unit Anaerobic Filter.

Tabel 8. Nilai Effluen Unit Anaerobic Filter

Inffluen COD	Inffluen BOD	Effluen COD	Effluen BOD
Kalkulai	Kalkulai	Kalkulai	Kalkulai
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
879,8	177	80,19	12,11

4. PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa evaluasi unjuk kerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rusunawa Klaten yang berada dilapangan sudah mengurangi jumlah kandungan limbah akan tetapi masih belum maksimal dimana masih ada beberapa indikator yang berada diatas batas maksimal standar lingkungan sehingga perlu dilakukannya desain ulang terhadap IPAL yang berada di lapangan, untuk selengkapnya dapat dilihat pada 2. Karakteristik Air Limbah dengan Batas Standar Lingkungan.

Dengan dilaksanakannya evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang berada dilapangan, maka dilakukan perencanaan ulang desain IPAL yang lebih efisien dengan menggunakan metode DEWATS dan didapatkan pengolahan limbah dengan unit Anaerobic Baffle Reactor (ABR) dan Anaerobic Filter (AF). Dari kedua desain perencanaan tersebut memiliki tingkat efisien tinggi dalam pengolahan limbah khususnya dalam kandungan COD dan BOD yang dapat dilihat pada Tabel 6 Nilai Effluen Unit Anaerobic Baffle Reactor (ABR) dan Tabel 8 Nilai Effluen Unit Anaerobic Filter (AF).

Dapat disimpulkan unit pengolahan limbah yang merupakan hasil dari analisa perhitungan dengan metode DEWATS ini memiliki efisiensi pengolahan air limbah yang bisa dibilang lebih baik daripada desain awal yang berada di lapangan, hal tersebut dapat dilihat dari perbandingan jumlah kandungan COD dan BOD pada awal limbah masuk dan setelah melalui instalasi pengolahan air limbah. Data tersebut tentunya sudah memenuhi standar baku mutu air limbah yang berlaku yaitu PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR P.68/Menlhk Setjen/2016.

Dengan Dimensi desain IPAL perencanaan ulang sebagai berikut : Anaerobic

Baffle Reactor (ABR) Setelah melakukan analisa perhitungan dengan menggunakan data kandungan air limbah saat memasuki unit pengolahan sebagai faktor acuan diperoleh bangunan jenis Anaerobic Baffle Reactor dengan spesifikasi 1 unit bak pengendap (settler) dengan dimensi panjang x lebar x tinggi sebesar 1,2 m x 2 m x 1,5 m dan 5 unit ABR dengan dimensi panjang x lebar x tinggi sebesar 0,75m x 1m x 1,5m.

Anaerobic Filter (AF) Setelah melakukan analisa perhitungan dengan menggunakan data kandungan air limbah saat memasuki unit pengolahan sebagai faktor acuan diperoleh bangunan jenis Anaerobic Filter dengan spesifikasi 2 unit bak pengendap (settler) dengan dimensi panjang x lebar x tinggi masing-masing sebesar 1m x 2m x 2,25m dan 0,5m x 2m x 2,25m, lalu 7 unit AF dengan dimensi panjang x lebar x tinggi sebesar 2,25m x 0,85 m x 2,25m

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, S. A. (2024, 02 23). *Analisis Coliform pada Air Limbah*. Retrieved from Sumber Aneka Karya Abadi: <https://www.saka.co.id/news-detail/analisis-coliform-pada-air-limbah>
- Filliazati, M., Apriani, I., & Zah, T. A. (2018). PENGOLAHAN LIMBAH CAIR DOMESTIK DENGAN BIOFILTER AEROB MENGGUNAKAN MEDIA BIOBALL DAN TANAMAN KIAMBANG. *Jurnal Serambi Mekkah*.
- Gutterer, B., Sasse, L., Panzerbieter, T., & Reckerzügel, T. (2009). *Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. Bremen / Berlin: Designed and produced by Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA), Germany.
- Indonesia, P. L. (2019, 02 23). *Cara Uji Padatan Tersuspensi total Suspended solids tss secara gravimetri*. Retrieved from LabMania: <https://labmanaiindonesia.id/update-sni-6989-32019-cara-uji-padatan-tersuspensi-total-total-suspended-solids-tss-secara-gravimetri/>
- Indonesia, P. L. (2024, 02 23). *Pengertian Sistem IPAL*. Retrieved from LLI: <https://lajuluasindonesia.com/berita-dan-penelitian/13/pengertian-sistem-ipal/>
- Khaliq, A. (2015). Analisis Sistem Pengelolaan Air Limbah pada Kelurahan Kelayan Luar Kawasan IPAL Pekapuran Raya PD PAL Kota Banjarmasin. *Jurnal POROS TEKNIK*.
- KONSTRUKSI, K. (2009, 02 23). *Metode untuk menentukan kadar besi (Fe) secara Spektrometri Serapan Atom (SSA) nyala pada kisaran kadar Fe 0.3 mg/l sampai dengan 10 mg/l dengan panjang gelombang 24.3 nm*. Retrieved from

KLINIK KONSTRUKSI PEMERINTAH DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA:

<https://klinikkonstruksi.jogjaprovo.go.id/nspm/SNI%206989.8%202009%20Pe%20meriksaan%20Pb.pdf>

L, N. H., Utomo, B., & Sudarto. (2017). SISTEM PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK DI KAWASAN KUMUH KECAMATAN KARANGANYAR. *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*.

Santosa, L. W. (2020). *KAJIAN HIDROGEOKIMIA AIR TANAH BEBAS DI WILAYAH KEPESISIRAN KABUPATEN PURWOREJO*". Purworejo: KAJIAN HIDROGEOKIMIA.

Sattuang, H., Mustari, K., & Syahrul, M. (2020). ANALISIS EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK STUDI KASUS BATIKITE RESORT JENEPONTO. *Journal Ecosolum*, 9.

Yuana Dewi, R. T. (2018). PENURUNAN KADAR BOD, COD, TSS DAN WARNA PADA LIMBAH INDUSTRI BATIK KAMPUNG BATIK GIRILOYO MENGGUNAKAN REAKTOR KOMBINASI ANAEROB-AEROB DENGAN SISTEM BATCH. *DSpace UII*, 50-52.

.