

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Data dan Analisa Data

Pengambilan data diperoleh dari Instalasi Pengolahan Air Limbah RSUD dr. R. Kosma Tuban. Data-data ini merupakan bagian terpenting untuk menunjang keberhasilan dalam studi ini. Adapun data-data yang diperoleh antara lain :

- Data Laporan Harian Pengoperasian (Data Debit, pH, Temperatur, TSS, Kualitas Air berupa COD, BOD, NH₃, P-PO₄)
- Data Laporan Indikator Proses
- Layout dan Dimensi IPAL

Data-data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari Instalasi Pengolahan Air Limbah RSUD dr. R. Koesma Tuban, merupakan studi observasi sehingga hanya menganalisa dan menghitung, tidak melakukan perlakuan ataupun percobaan.

4.1.1. Data Debit (Input)

Air limbah ini berasal dari kamar mandi dan toilet, wastafel, laundry, dapur umum (kitchen). Kegiatan di laundry merupakan kegiatan penghasil limbah cair paling besar, dimana sekitar 50-60% volume limbah cair berasal dari kegiatan ini, kegiatan dapur 20%, toilet 20% serta kegiatan lain-lain 10%. Limbah dari Radiologi, Hemodialisis, dan Laboratorium RSUD dibuang secara terpisah sehingga tidak masuk ke IPAL. Untuk lebih jelasnya, data tentang laporan harian operasi IPAL ditabelkan terdapat di lampiran. Berikut tabulasi data debit rerata untuk setiap bulannya :

Tabel 4.1. Tabulasi Data Debit rerata bulanan

Bulan	Flowrate (m ³ /h)	
	Inlet	Outlet
Oktober 2004	40.19	54.63
Novmbr 2004	40.19	45.47
Desmbr 2004	40.19	44.89
Januari 2005	40.19	51.36
Februari 2005	40.19	43.49
Maret 2005	40.19	51.63
Aprl 2005	40.19	41.28
Mei 2005	40.19	50.31
Juni 2005	40.19	38.24
Juli 2005	40.19	43.66
Agustus 2005	40.19	41.65
Septmbr 2005	40.19	49.58
Oktober 2005	40.19	57.97
Novmbr 2005	40.19	54.88
Desmbr 2005	40.19	65.78
Januari 2006	40.19	63.23
Februari 2006	40.19	50.15
Maret 2006	40.19	40.19
AprL 2006	54.09	54.09
Mei 2006	54.09	54.09
Juni 2006	40.19	35.00

Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban



Gambar 4.1 Grafik Perubahan Fluktuasi Debit

Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

Berdasarkan pengukuran yang sudah dilakukan, debit rerata air limbah di Inlet adalah 40,19 m³/jam. Tetapi untuk bulan April dan Mei 2006, debit rerata air limbah di Inlet mencapai 54,09 m³/jam. Hal ini terjadi dikarenakan meningkatnya jumlah pasien yang rawat inap, sehingga limbah cair yang diolah juga meningkat.

Karena kenaikan jumlah limbah, maka dalam pengoperasian pompa, debit yang mengalir juga dinaikkan. Sedangkan di outlet nilainya bervariasi.

4.1.2. Data Kualitas Air Limbah

Dari hasil analisis laboratorium IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban diperoleh data-data kualitas air limbah yang ditabelkan.

Tabel 4.2 Kualitas Air Limbah RSUD dr. R. Koesma Tuban (Nilai Maksimum)

Parameter	Konsentrasi Limbah Rumah Sakit		Standar Baku Mutu
	Inlet	Outlet	
BOD ₅	231 (mg/l)	14 (mg/l)	<30 (mg/l)
COD	77 (mg/l)	29 (mg/l)	<80 (mg/l)
TSS	182,35 (mg/l)	7,81 (mg/l)	<30 (mg/l)
pH	7,86	6,89	6 – 9
Suhu	30,70	30,22 °C	<30°C
NH ₃ bebas	2,074 (mg/l)	0,0001 (mg/l)	<0,1 (mg/l)
P-PO ₄	1,09 (mg/l)	1,0354 (mg/l)	<2 (mg/l)
MPN – Coli/100ml	>1600.10 ⁴	<200	< 10000
Golongan	D	C	Minimal C

Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban

Untuk data laporan pengoperasian harian terdapat pada lampiran 1. Data-data ini adalah data laporan harian mulai bulan Oktober 2004 sampai dengan Juni 2006 dan diambil nilai yang tertinggi setiap bulannya selama kurun waktu tersebut.

Pengamatan sifat-sifat atau karakteristik dari air limbah RSUD dr. R. Koesma Tuban dilakukan untuk dapat mengetahui jenis pencemaran yang terdapat dalam air limbah tersebut. Berdasarkan karakteristik fisika, dapat diberikan suatu penilaian bahwa sifat fisik terpenting yaitu adanya bahan padat, kekeruhan, warna air limbah, suhu, dan bau yang khas.

Bahan padat ini berupa partikel suspensi yang berasal dari toilet dan kamar mandi, laundry, dapur, serta kotoran lain yang ikut terbawa masuk ke saluran menuju IPAL. Dari hasil analisis laboratorium IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban menunjukkan bahwa nilai total kandungan padatan tersuspensi di outlet adalah 7,81 mg/l dimana ini memenuhi kriteria standar yang diijinkan oleh

pemerintah sebesar <30 mg/l (Tabel 4.1). Sehingga ditinjau dari segi karakteristik fisik, di bak pengendapan sudah cukup efektif kerjanya.

Kekeruhan disebabkan karena masih adanya partikel tersuspensi di dalam air limbah. Warna air limbah coklat gelap disebabkan sisa lemak dari dapur RSU yang sudah diolah di bak pre treatment tetapi masih terbawa ke saluran IPAL dan mengapung di permukaan air. Bau dari air limbah ini disebabkan karena aktivitas bakteri dalam menguraikan bahan organik. Proses penguraian ini akan menyebabkan penurunan kandungan oksigen yang terlarut sehingga kemungkinan untuk limbah berada dalam kondisi septic (mengalami pembusukan). Temperatur dari air limbah ini memiliki suhu diatas air normal pada umumnya akibat dari bereaksinya bahan-bahan yang terkandung didalam limbah itu sendiri, terutama untuk limbah yang sudah mengalami pengolahan pendahuluan (Pre-treatment). Disamping itu, suhu disekitar daerah studi ini juga mempengaruhi juga walaupun relatif kecil.

4.1.3. Data Indikator Proses

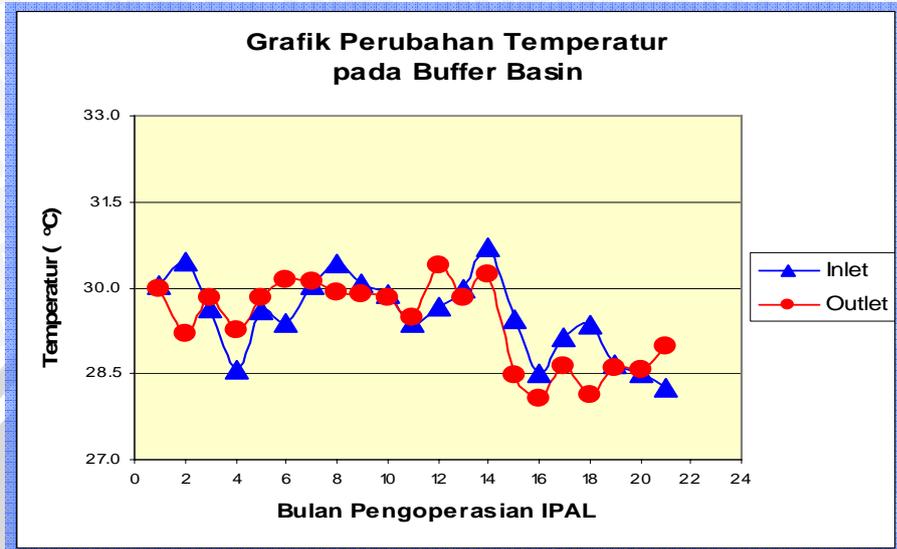
Tabel 4.3 Indikator Proses Pada Buffer Basin

Buffer Basin									
Bulan Ke	Bulan	Temperatur(oC)		DO(mg/L)		pH		SV30(%)	
		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
1	Okt 2004	30.04	29.99	3.95	3.73	7.16	7.23	1.77	1.14
2	Nov-04	30.44	29.20	1.22	0.82	7.38	7.23	1.65	4.90
3	Des 2004	29.63	29.82	2.06	2.02	7.86	6.89	3.13	7.28
4	Januari 05	28.56	29.25	3.84	3.00	6.81	7.45	1.04	2.60
5	Februari 2005	29.61	29.81	2.81	2.66	6.78	6.83	3.44	4.91
6	Maret 05	29.40	30.15	2.45	2.65	6.97	6.66	3.64	2.86
7	Apr-05	30.06	30.10	2.60	1.94	5.78	7.24	59.50	63.29
8	Mei 05	30.41	29.93	2.21	2.70	7.58	6.77	0.90	3.74
9	Juni 05	30.07	29.90	4.46	3.15	7.18	7.37	1.90	2.79
10	Juli 05	29.89	29.84	2.54	2.90	7.08	7.08	27.36	32.57
11	Agust 05	29.39	29.47	3.02	1.66	6.90	7.13	30.89	74.14
12	Sep-05	29.68	30.40	1.20	2.63	7.34	7.25	0.29	0.25
13	Okt 05	29.99	29.81	1.76	2.40	7.14	6.37	0.58	0.20
14	Novmbr 05	30.70	30.22	3.37	1.89	7.41	7.42	8.40	1.12
15	Des 05	29.45	28.47	0.84	1.97	7.62	8.45	0.06	0.20
16	Januari 06	28.50	28.08	0.68	0.69	7.33	7.48	0.10	0.08
17	Februari 06	29.14	28.63	0.96	2.48	7.49	7.88	0.33	1.01
18	Maret 06	29.35	28.14	3.38	3.32	7.56	7.49	5.53	11.95
19	Apr-06	28.68	28.60	1.77	3.23	7.57	7.48	3.98	2.43
20	Mei 06	28.50	28.59	2.49	1.93	7.37	7.69	3.78	1.11
21	Juni 06	28.24	28.98	2.12	1.67	7.56	7.18	0.27	0.43

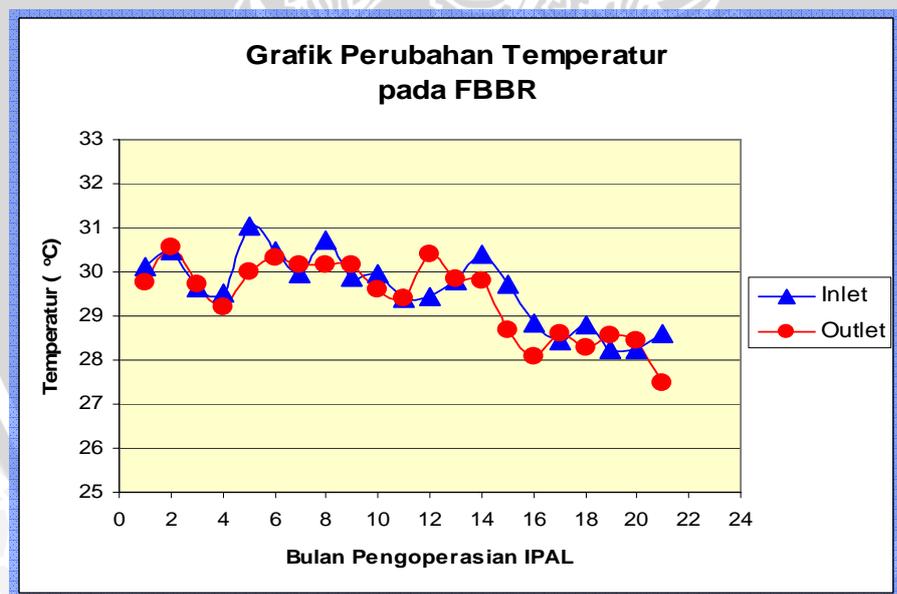
Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban



Tabel 4.3 dan tabel 4.4 diatas adalah data indikator proses. Data tersebut digunakan dalam perhitungan analisa bangunan dari kondisi eksisting maupun kondisi alirannya. Sedangkan grafik fluktuasinya adalah sebagai berikut :



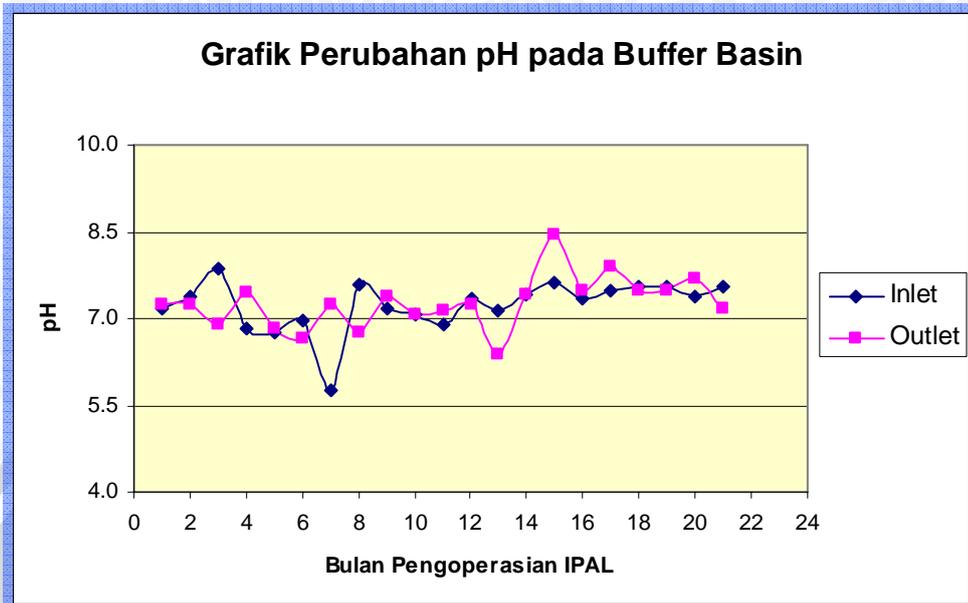
Gambar 4.2. Grafik Perubahan Temperatur pada Buffer Basin
Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa



Gambar 4.3. Grafik Perubahan DO pada Buffer Basin
Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

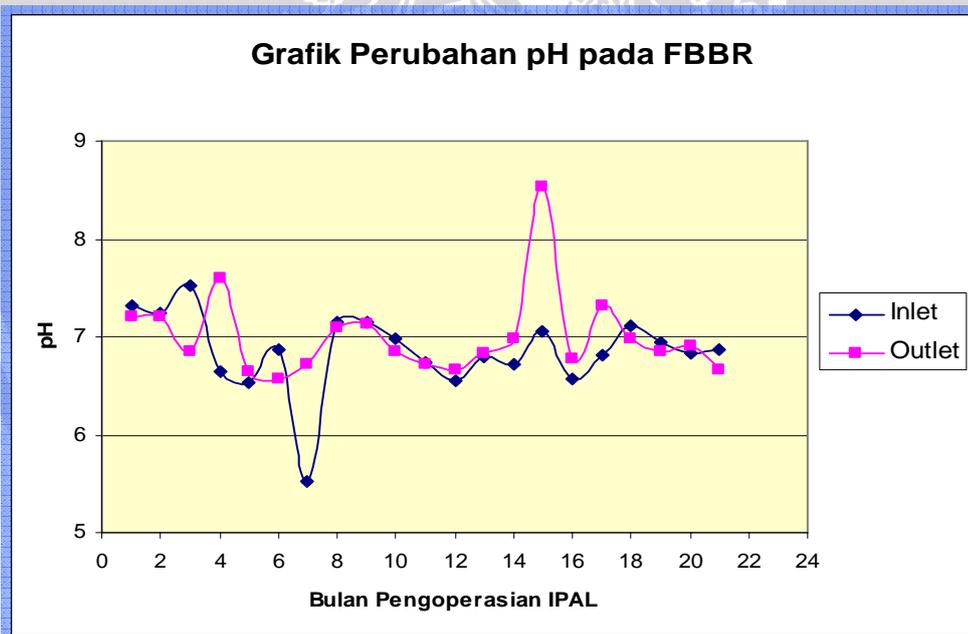
Pada Buffer Basin suhu di outlet lebih rendah bila dibandingkan dengan yang di inlet, hal ini disebabkan karena pengaruh penstabilan aliran air limbah dengan cara pengenceran, sehingga suhunya bisa turun. Begitu juga yang terjadi

di bak FBBR, disini juga adanya penanaman media dan penyemprotan air kedalam bak pengolahan (FBBR) sehingga suhu di outlet lebih rendah.



Gambar 4.4. Grafik Perubahan pH pada Buffer Basin

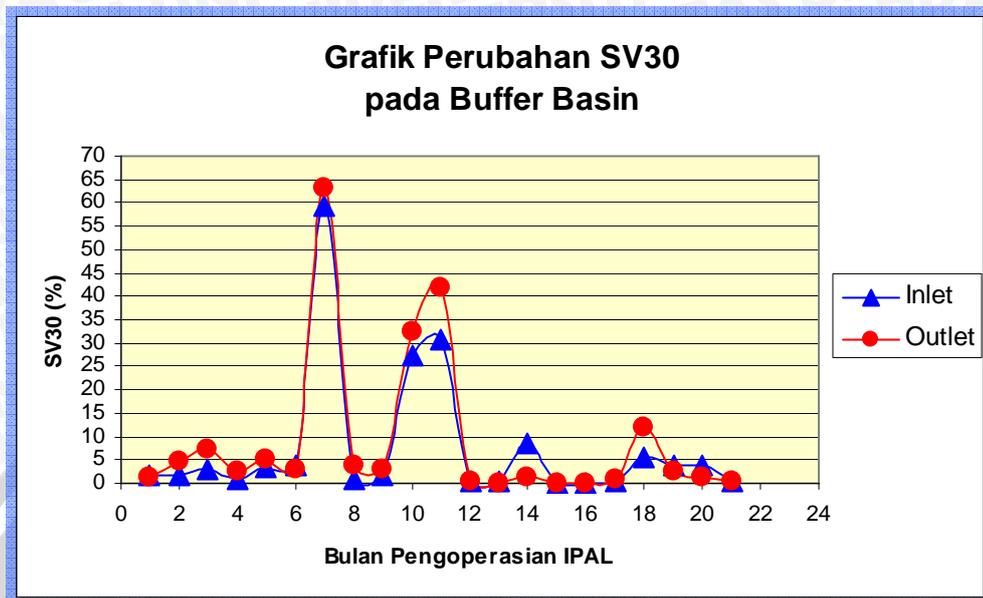
Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa



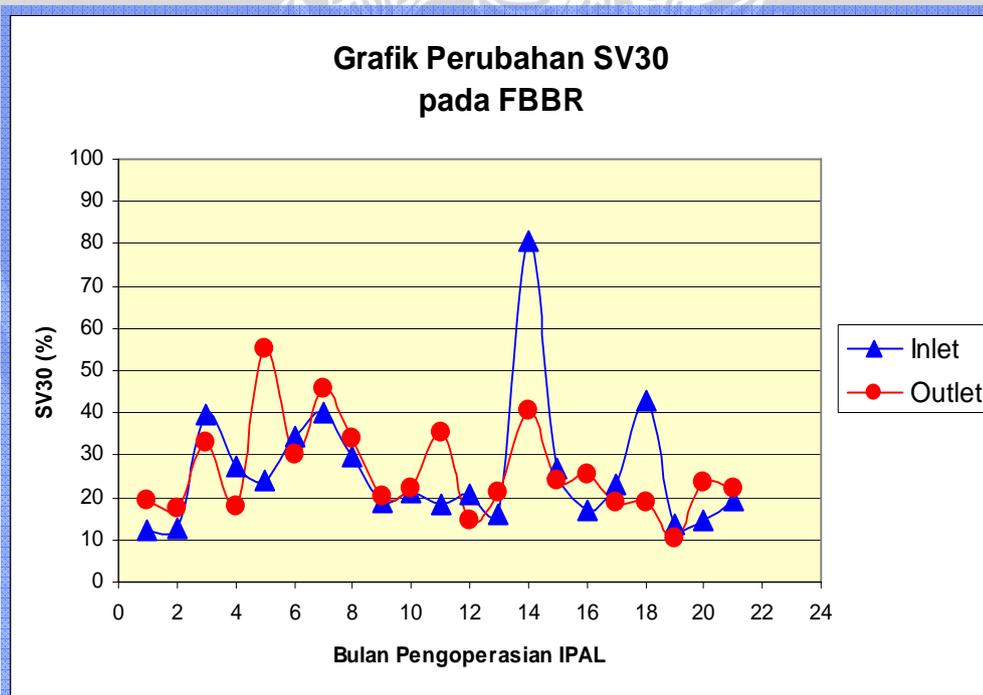
Gambar 4.5. Grafik Perubahan pH pada FBBR

Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

Untuk pH di kedua bak juga menunjukkan hal yang sama, terjadi kenaikan pH di outlet. Tetapi masih dalam range yang diperbolehkan yaitu antara 6 – 9, karena di bak FBBR dilakukan penanaman media jadi organisme yang bisa hidup pada range pH tersebut.



Gambar 4.6. Grafik Perubahan Sludge Volume 30 (SV₃₀) pada Buffer Basin
 Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa



Gambar 4.7. Grafik Perubahan Sludge Volume 30 (SV₃₀) pada Bak FBBR
 Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

Volume lumpur selama 30 hari atau sebulan ini pada kedua bak menunjukkan angka semakin besar pada outletnya. Pada bak FBBR, kandungan lumpur lebih banyak daripada di bak buffer dikarenakan pada bak FBBR

menerima lumpur dari bak sebelumnya termasuk dari bak buffer juga hingga mencapai 80% dari jumlah total lumpur selama 30 hari.

4.2. Analisa Sistem Penyaluran

Sistem penyaluran air limbah di RSUD dr. R. Koesma Tuban menggunakan sistem terpisah. Air limbah dan air hujan disalurkan secara terpisah dengan menggunakan dua saluran berbeda. Air hujan disalurkan melalui saluran terbuka yang langsung dialirkan ke saluran drainase kota Tuban, sedangkan air limbah disalurkan melalui jaringan pipa menuju IPAL.

4.3. Analisa Sistem Pengumpulan

Air limbah buangan dari ruang cuci (laundry), serta dapur RSU (Kitchen) sebelum dialirkan ke IPAL terlebih dahulu dilakukan pengolahan pendahuluan di bak Pre Treatment. Pengolahan awal ini dilakukan untuk menghilangkan lemak dan busa sisa sabun dengan menggunakan fasilitas penangkap lemak. Sebagian lainnya dari limbah-limbah yang masuk ke IPAL langsung dialirkan ke jaringan perpipaan yang dilengkapi dengan bak kontrol, bak pengumpul serta bak pengelontor.

4.3.1. Analisa Proses Pengelolaan Limbah dengan Metode FBBR (Fluidized Bed Biofilm Reactor) Berdasarkan Kondisi Aktual di Lapangan.

1. Sumur Pengumpul

Sumur pengumpul berfungsi untuk menampung limbah sementara sebelum dilakukan pengolahan lebih lanjut. Berfungsi juga untuk menjaga kestabilan aliran limbah pada saat pengaliran limbah kedalam proses pengolahan serta menghomogenkan limbah dari berbagai macam masukan limbah yang berbeda-beda. Tetapi biasanya sebelum masuk ke sumur pengumpul dilakukan pengolahan pendahuluan (Pre Treatment), terutama untuk limbah yang berasal dari laundry (penyucian) dan kitchen (dapur) sebagaimana yang sudah diutarakan diatas bahwa pre treatment dilakukan untuk menghilangkan lemak dan busa yang dapat mengganggu pada saat berada di IPAL.

2. Screen Facility (Fasilitas Penyaring)

Lift Station merupakan tempat penampungan sementara dari influent air buangan. Dalam sistem ini, screen penggaruk (*rake screen*) dipasang untuk menyisihkan padatan tersuspensi secara otomatis di atas bak buffer. Setelah tertahan screen, material padat kemudian dibakar dalam incenerator. Influent air limbah akan diekualisasi dari beban polutan dan pencegahan penghancuran kandungan organik, pasir dan material yang dapat mengendap lainnya. Bak buffering (pengocokan dan pencampuran) digunakan untuk menstabilkan air limbah dengan laju alir yang berfluktuasi, BOD tinggi, pH abnormal, dan zat-zat beracun yang masuk ke bioreaktor secara cepat akan diaduk oleh submersible mixer. Pada submersible mixer juga dihindari terjadinya endapan lumpur. Laju aliran yang konstan harus dialirkan ke FBBR sebab laju alir yang berfluktuasi dapat mempengaruhi efisiensi pengolahan biologis. Bak buffer ini dioperasikan untuk 24 jam.

3. Sistem FBBR

Fluidized Bed Bio-film Reactor merupakan bagian utama dari HWWTP (Hospital Wastewater Treatment Plan). Sistem ini merupakan proses aerobik dan proses anaerobik melalui media. Kira-kira 27% dari volume reaktor diisi dengan media mengapung (bio-green) dimana mikroba dibiakkan. Pertumbuhan tersuspensi dan pelekatan mikroorganisme biodegradasi polutan organik terlarut yang terkandung pada air limbah dan konsentrasi MLVSS dapat dipertahankan pada 300 mg/L. Penurunan tingkat pencemaran dapat dilakukan melalui penambahan oksigen. Terdapat dua cara penambahan oksigen dalam air limbah, yaitu :

- Memasukkan udara ke dalam air limbah
- Memaksa air keatas untuk kontak dengan udara bebas

Perubahan bahan-bahan organik terjadi dengan adanya oksigen oleh mikroorganisme pertumbuhan tersuspensi dan pertumbuhan tertempel. Sel-sel baru dihasilkan dari perubahan bahan-bahan organik. Bila sel-sel baru terpisah dari air dan terbuang dari air dan terbuang dari sistem.

Dalam hal ini, penambahan oksigen pada FBBR dilakukan dengan cara memasukkan udara kedalam air limbah. Dalam FBBR terdapat diffuser, yaitu membran untuk mengalirkan oksigen yang diletakkan pada dasar reaktor. Oksigen yang dialirkan melalui diffuser akan mengalami pemecahan molekul sehingga ukurannya menjadi kecil. Hal tersebut dilakukan untuk menambah waktu kontak antara molekul oksigen dengan larutan (air limbah). Dengan demikian mikroorganisme mempunyai waktu yang cukup banyak untuk menangkap oksigen yang dibutuhkan. Untuk menciptakan suasana aerobik, reaktor ini dilengkapi dengan blower yang berfungsi untuk mensuplai oksigen.

4. Bak Pengendap (Settling Basin)

Air dan lumpur dari FBBR mengalir ke bak pengendap dimana terjadi proses pemisahan air dengan lumpur yang mengendap secara gravitasi. Lumpur dikumpulkan oleh settling sludge scrapper dimasukkan ke dalam sludge hoper yang terdapat ditengah-tengah bak. Air over flow melalui weir (pelimpah) dan mengalir ke pengolahan selanjutnya.

5. Bak Air Terolah (Treat Water Basin)

Bak ini berfungsi sebagai penyimpanan sementara. Dilapisi penutup dan memiliki lubang inspeksi. Diffuser agitator dan pompa transfer dipasang didalamnya untuk proses selanjutnya.

6. Filter Aliran Keatas (Up-Flow Filter)

Dalam filtrasi upflow, residu padatan tersuspensi harus bisa dihilangkan dengan metoda media absorpsi. *Backwash* (pencucian balik arah) material yang ter-absorpsi menggunakan air yang telah diolah.

7. Disinfectant Basin (Bak Desinfeksi)

Fasilitas klorinasi digunakan untuk men-sterilkan effluent sebelum dilepaskan keluar ke badan air. Untuk keamanan, waktu retensi proses sterilisasi paling tidak 15 menit. Di jalur akhir effluent ada flow meter. Fasilitas pembantu lainnya adalah tangki penampungan kimia, termasuk pompa injeksi pengaduk kimia (NaOCI) dan flow meter *parshall flume type*. Beberapa hal yang perlu diperhatikan ketika memilih bahan desinfeksi, diantaranya :

- Daya racun zat kimia tersebut
- Waktu kontak yang diperlukan
- Efektivitasnya
- Rendahnya dosis
- Tidak toksik terhadap manusia dan hewan
- Tahan terhadap air
- Biaya terjangkau

Oleh karena itu, maka untuk bahan penjernih air limbah di IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban menggunakan larutan Asam tri-chloro-isocyanuric (TCCA) yang teruji aman digunakan. Tetapi sayang sekali, parshal flume tidak dapat digunakan karena mengalami kerusakan sejak april 2006, sehingga untuk bulan-bulan setelah april 2006, pengukuran kecepatan di area ini dilakukan secara manual.

8. Bak Penampung Sludge (Sludge Storage Basin)

Sludge akan ditampung serrientara *di sludge storage basin* sebelum ditransfer ke sistem dewatering. Sludge storage basin diaplikasikan untuk menampung volume 7 hari. Dipasang juga *Submixer equalisasi* dan pompa transfer. Dari setiap tahap pengolahan air limbah, menghasilkan lumpur yang perlu diolah khusus supaya tidak mengganggu lingkungan.

Penyebabnya adalah sebagai berikut :

- Lumpur sebagian besar terdiri dari bahan-bahan yang dapat menimbulkan bau
- Lumpur hasil pengolahan biologis banyak mengandung bahan organik sehingga masih kurang stabil
- Kandungan solid dalam lumpur sangat kecil ($\pm 10\%$)
- Lumpur mengandung BOD yang sangat tinggi

Tujuan dari pengolahan lumpur ini adalah untuk mengurangi kadar air dari lumpur (pemekatan) dan untuk mengurangi kandungan organik dari lumpur (stabilisasi). Setelah proses pemekatan dan pengentalan, dilanjutkan proses stabilisasi, dengan cara penambahan bahan kimia untuk menghilangkan daya hidup mikroorganisme.

9. Sludge Dewatering System

Dewatering unit adalah unit operasi yang diterapkan untuk mengurangi kadar air dalam lumpur, dengan memperhatikan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- Biaya angkut lumpur dapat ditekan
- Lumpur lebih mudah diolah karena kandungan airnya rendah
- Lumpur berkadar air rendah digunakan sebagai bahan bakar pada incenerator
- Setelah diambil airnya, lumpur menjadi tidak bau dan tidak mudah membusuk

Sludge limbah memiliki kandungan air 99%. Setelah di-flokulasi-kan (digumpalkan) dengan FeCl_3 dan setelah proses dewatering, kandungan airnya menjadi 75%. Selama proses dewatering, air perkotaan (city water) digunakan dalam proses pembersihan belt. Akhirnya sludge yang telah di-dewatering dan sudah tercetak sebagai sludge cake diangkut ke luar rumah sakit atau dibakar dalam incenerator. Kelemahan dari sistem ini adalah biaya perawatan alat mahal, sehingga seringkali lumpur dibuang dengan cara digelontor bersamaan dengan air hasil olahan ke effluent.

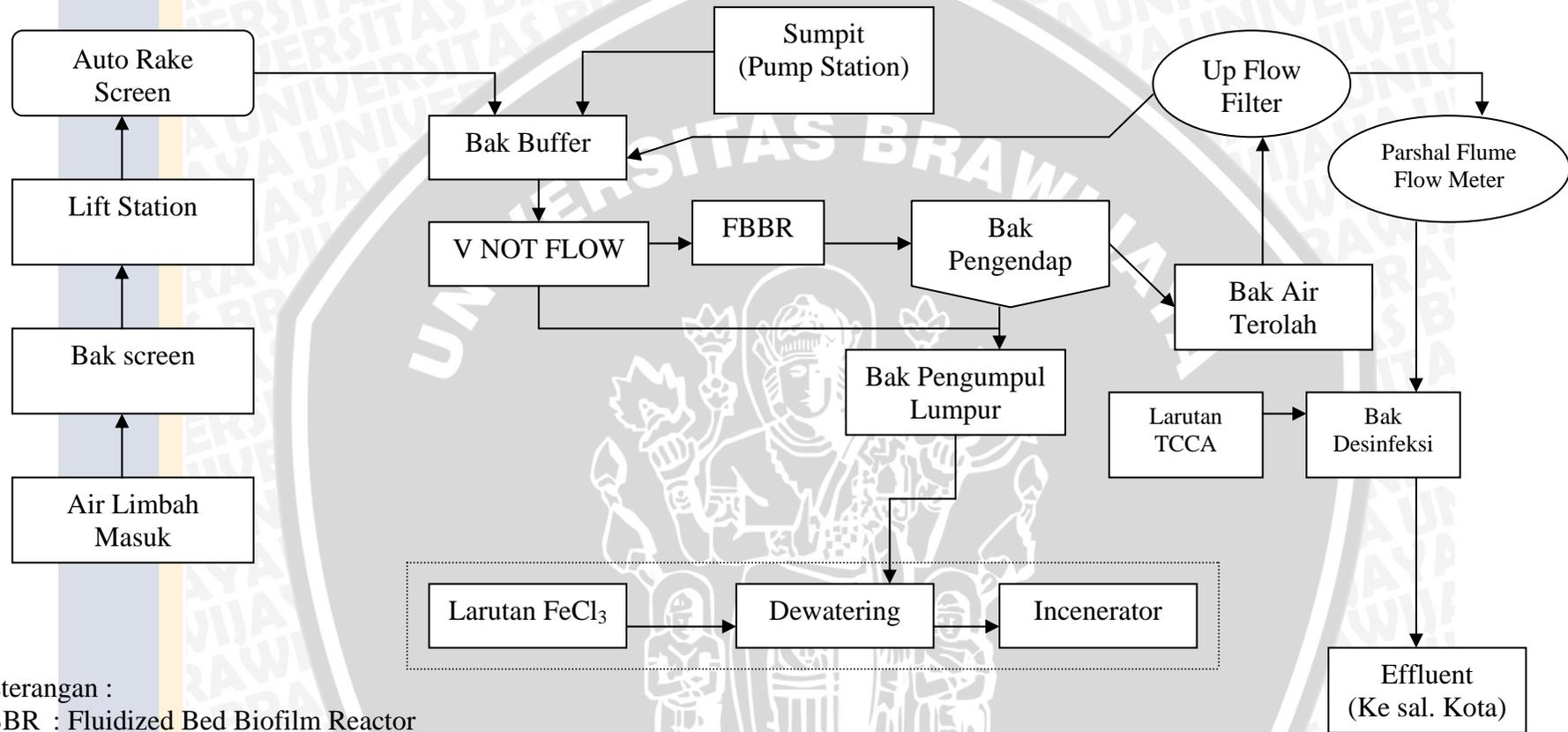
10. Bak Air Perkotaan (City Water Basin)

Air perkotaan disediakan untuk menyempatkan air ke sistem FBBR, pengenceran zat kimia dan pembersih belt.

11. Effluent (Keluaran)

Air limbah yang telah diolah yang telah memenuhi standar buangan air limbah kemudian dibuang ke saluran kota.

Adapun skema proses pengolahan limbah dengan metode FBBR, ditampilkan pada gambar 4.8.



Keterangan :

FBBR : Fluidized Bed Biofilm Reactor

TCCA : Asam tri-chloro-isocyanuric

Gambar 4.8. Diagram Alir Proses IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban

4.4. Analisa Hasil Olahan Limbah (Output)

Seperti yang telah dijabarkan sebelumnya bahwa ada 2 macam produk hasil olahan dari IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban, yaitu Lumpur dan Air Olahan Limbah.

1. Lumpur

Lumpur ini masuk ke dalam incenerator untuk dibakar. Sebelumnya telah dilakukan proses dewatering untuk menghilangkan airnya. Mengapa lumpur ini diolah tersendiri untuk outputnya, dikarenakan jika lumpur tetap dibuang bersama air dengan cara penggelontoran, akan menyebabkan terjadinya pengurangan efektivitas bangunan akibat adanya tumpukan sedimen yang melebihi batas di outlet IPAL. Kekurangan dari proses pengolahan lumpur ini adalah biaya perawatan yang mahal, sehingga tidak jarang lumpur ini digelontor keluar bersama air hasil olahan ke effluent.

2. Air Hasil Olahan

Air yang sudah terolah ini sebelum dibuang ke saluran drainase kota, terlebih dahulu diberikan larutan Asam tri-chloro-isocyanuric (TCCA) sebagai desinfektan atau penghilang kuman-kuman berbahaya. Hasil Laboratorium menunjukkan air buangan dari IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban menunjukkan bahwa air buangan tersebut masuk ke Air Golongan C sehingga aman untuk dibuang ke saluran kota.

4.5. Analisa Data Kualitas Air

4.5.1. Perhitungan Efektifitas Pengurangan Parameter Limbah

1. Efektivitas Pengurangan BOD₅

Perhitungan efektivitas pengurangan BOD₅ pada IPAL ini adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta_{BOD_5} &= \frac{BOD_{inlet} - BOD_{outlet}}{BOD_{inlet}} \cdot 100\% \\ &= \frac{220 - 20}{220} \cdot 100\% \\ &= 90,91 \%\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisa perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa kinerja IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban sangat efektif terhadap pengurangan

BOD₅, dimana hal ini bisa terlihat dari hasil perhitungan menghasilkan efektivitas pengurangan BOD₅ sebesar 90,91 % dengan nilai BOD₅ di outlet sebesar 20 mg/l. Nilai ini masuk kedalam kategori aman dari standar baku mutu yang ada, yaitu sebesar < 30 mg/l. Untuk nilai BOD₅ yang lainnya, ditabelkan dan untuk grafiknya ada pada lampiran.

2. Efektivitas Pengurangan COD

Perhitungan efektivitas pengurangan COD pada IPAL ini adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta_{COD} &= \frac{COD_{inlet} - COD_{outlet}}{COD_{inlet}} \cdot 100\% \\ &= \frac{213 - 30}{213} \cdot 100\% \\ &= 85,92 \%\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisa perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa kinerja IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban juga sangat efektif terhadap pengurangan COD, dimana hal ini bisa terlihat dari hasil perhitungan menghasilkan efektivitas pengurangan COD sebesar 85,82 % dengan nilai COD di outlet sebesar 30 mg/l. Nilai ini masih sesuai dari standar baku mutu yang ada, yaitu sebesar < 80 mg/l. Untuk nilai COD yang lainnya, ditabelkan dan untuk grafiknya ada pada lampiran.

3. Efektivitas Pengurangan Total Suspended Solid (TSS)

Perhitungan efektivitas pengurangan COD pada IPAL ini adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta_{TSS} &= \frac{TSS_{inlet} - TSS_{outlet}}{TSS_{inlet}} \cdot 100\% \\ &= \frac{219 - 5}{219} \cdot 100\% \\ &= 97,72 \%\end{aligned}$$

Untuk perhitungan bulan-bulan selanjutnya dapat dilihat di tabel. Dapat dilihat dengan jelas, bahwa untuk efektivitas pengurangan TSS disini juga sangat bagus, terbukti hasil efektivitas pengurangan TSS berkisar 98% - 99%. Hal ini membuktikan bahwa IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban ini sudah bekerja dengan optimal.

Dari tabel perhitungan tersebut dapat dilihat seberapa besar fluktuasi perubahan efektivitas IPAL setiap bulannya selama dua tahun. (Terhitung mulai bulan Oktober 2004 sampai dengan Juni 2006).

4. Efektivitas Pengurangan NH_3

Perhitungan efektivitas pengurangan NH_3 pada IPAL ini adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{NH}_3} &= \frac{\text{NH}_{3\text{inlet}} - \text{NH}_{3\text{outlet}}}{\text{NH}_{3\text{inlet}}} \cdot 100\% \\ &= \frac{2,35 - 0,00011}{2,35} \cdot 100\% \\ &= 99,9953\% = 100\%\end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa kinerja IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dalam mengurangi kadar NH_3 mencapai 99,9953%. Hal ini menunjukkan bahwa IPAL dinilai efektif untuk pengurangan kadar NH_3 .

5. Efektivitas Pengurangan P- PO_4

$$\begin{aligned}\eta_{\text{P-PO}_4} &= \frac{\text{P-PO}_{4\text{inlet}} - \text{P-PO}_{4\text{outlet}}}{\text{P-PO}_{4\text{inlet}}} \cdot 100\% \\ &= \frac{1,2 - 1,0236}{1,2} \cdot 100\% \\ &= 13,03\%\end{aligned}$$

Hasil yang ditunjukkan dari perhitungan diatas adalah hanya berkisar 13,03% saja efektivitas pengurangan kandungan P- PO_4 , tetapi jika dilihat nilai P- PO_4 di outlet menunjukkan 1,0236 mg/l. Nilai tersebut masih memenuhi standar baku mutu yang diijinkan oleh pemerintah yaitu < 2 mg/l sehingga masih dapat dikatakan layak.

1. Kualitas BOD₅Tabel 4.5 Analisa Kualitas BOD₅

NO	BULAN	BOD														
		WEEK 1			WEEK 2			WEEK 3			WEEK 4			WEEK 5		
		IN	OUT	Eff (%)												
1	Okt 04	220	20	90.91	-	-	-	186	22	88.17	-	-	-	198	18	90.91
2	Nov 04	-	-	-	375	24	93.60	-	-	-	398	17	95.73	220	16	92.73
3	Des 04	298	21	92.95	-	-	-	232	16	93.10	-	-	-	257	19	92.61
4	Januari 05	285	19	93.33	-	-	-	-	-	-	231	14	93.94	-	-	-
5	Februari 05	198	14	92.93	-	-	-	217	20	90.78	-	-	-	225	16	92.89
6	Maret 05	-	-	-	217	15	93.09	-	-	-	-	-	-	224	18	91.96
7	Apr-05	312	27	91.35	-	-	-	208	23	88.94	-	-	-	279	19	93.19
8	Mei 05	279	16	94.27	-	-	-	302	15	95.03	-	-	-	258	18	93.02
9	Juni 05	302	23	92.38	278	24	91.37	-	-	-	-	-	-	231	14	93.94
10	Juli 05	-	-	-	275	17	93.82	-	-	-	225	17	92.44	231	14	93.94
11	Agust 05	286	17	94.06	-	-	-	227	20	91.19	-	-	-	231	14	93.94
12	Sep-05	225	20	91.11	-	-	-	-	-	-	198	17	91.41	231	14	93.94
13	Okt 05	-	-	-	275	18	93.45	-	-	-	231	14	93.94	-	-	-
14	Novmbr 05	-	-	-	278	20	92.81	289	19	93.43	-	-	-	231	14	93.94
15	Des 05	279	18	93.55	253	20	92.09	-	-	-	-	-	-	224	25	88.84
16	Januari 06	-	-	-	298	20	93.29	-	-	-	300	17	94.33	231	14	93.94
17	Februari 06	278	20	92.81	-	-	-	226	18	92.04	231	18	92.21	-	-	-
18	Maret 06	224	18	91.96	246	20	91.87	-	-	-	-	-	-	231	14	93.94
19	Apr-06	257	20	92.22	-	-	-	300	22	92.67	-	-	-	226	18	92.04
20	Mei 06	213	18	91.55	-	-	-	200	19	90.50	-	-	-	224	23	89.73
21	Juni 06	213	20	90.61	325	27	91.69	-	-	-	-	-	-	223	17	92.38

Sumber : Data dan Perhitungan

2. Kualitas COD

Tabel 4.6 Analisa Kualitas COD

NO	BULAN	COD														
		WEEK 1			WEEK 2			WEEK 3			WEEK 4			WEEK 5		
		IN	OUT	Eff (%)												
1	Okt 04	213	30	85.92	-	-	-	257	40	84.44	-	-	-	352	45	87.22
2	Nov 04	-	-	-	375	24	93.60	-	-	-	-	-	-	398	25	93.72
3	Des 04	312	27	91.35	-	-	-	284	24	91.55	-	-	-	300	32	89.33
4	Januari 05	394	26	93.40	-	-	-	-	-	-	406	30	92.61	-	-	-
5	Februari 05	356	42	88.20	-	-	-	379	30	92.08	-	-	-	410	27	93.41
6	Maret 05	-	-	-	302	26	91.39	-	-	-	-	-	-	298	24	91.95
7	Apr-05	375	30	92.00	-	-	-	374	27	92.78	-	-	-	421	27	93.59
8	Mei 05	394	27	93.15	-	-	-	375	24	93.60	-	-	-	403	26	93.55
9	Juni 05	285	42	85.26	325	37	88.62	-	-	-	-	-	-	218	56	74.31
10	Juli 05	-	-	-	278	25	91.01	-	-	-	125	19	84.80	77	29	62.34
11	Agust 05	225	35	84.44	-	-	-	300	30	90.00	-	-	-	141	42	70.21
12	Sep-05	175	18	89.71	-	-	-	-	-	-	200	20	90.00	223	15	93.27
13	Okt 05	-	-	-	224	24	89.29	-	-	-	185	26	85.95	-	-	-
14	Novmbr 05	-	-	-	225	26	88.44	321	34	89.41	-	-	-	193	43	77.72
15	Des 05	224	27	87.95	237	27	88.61	-	-	-	-	-	-	187	30	83.96
16	Januari 06	-	-	-	321	26	91.90	-	-	-	276	25	90.94	77	29	62.34
17	Februari 06	245	25	89.80	-	-	-	273	22	91.94	125	27	78.40	-	-	-
18	Maret 06	375	27	92.80	352	25	92.90	-	-	-	-	-	-	406	30	92.61
19	Apr-06	124	29	76.61	-	-	-	227	27	88.11	-	-	-	89	32	64.04
20	Mei 06	275	25	90.91	-	-	-	238	25	89.50	-	-	-	127	27	78.74
21	Juni 06	227	35	84.58	275	32	88.36	-	-	-	-	-	-	216	46	78.70

Sumber : Data dan Perhitungan

3. Kualitas Total Suspended Solid (TSS)

Tabel 4.7 Analisa Kualitas TSS

NO	BULAN	TSS														
		WEEK 1			WEEK 2			WEEK 3			WEEK 4			WEEK 5		
		IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)
1	Okt 04	219.00	5.00	97.72	98.40	3.00	96.95	162.40	1.80	98.89	57.33	3.25	94.33	111.00	4.00	96.40
2	Nov 04	144.00	3.75	97.40	411	3.00	99.27	-	-	-	-	-	-	469	3	99.36
3	Des 04	280.00	2.50	99.11	290.00	2.40	99.17	268.60	2.60	99.03	161.00	3.00	98.14	293.25	6.75	97.70
4	Januari 05	174.33	4.00	97.71	209.25	2.50	98.81	-	-	-	253.50	1.50	99.41	-	-	-
5	Februari 05	280.00	2.50	99.11	290.00	2.40	99.17	268.60	2.60	99.03	161.00	3.00	98.14	293.25	6.75	97.70
6	Maret 05	270.00	1.00	99.63	349.75	2.25	99.36	267.40	2.80	98.95	205.00	1.75	99.15	279.67	2.00	99.28
7	Apr-05	243.00	3.00	98.77	288.00	3.00	98.96	516.67	2.33	99.55	329.50	3.25	99.01	269.00	1.67	99.38
8	Mei 05	266.00	2.67	99.00	244.80	4.00	98.37	215.50	2.50	98.84	258.75	4.00	98.45	201.00	5.00	97.51
9	Juni 05	280.00	2.50	99.11	290.00	2.40	99.17	268.60	2.60	99.03	161.00	3.00	98.14	293.25	6.75	97.70
10	Juli 05	214.00	2.00	99.07	193.40	3.40	98.24	242.00	2.60	98.93	264.00	3.00	98.86	185.67	6.67	96.41
11	Agust 05	183.50	3.25	98.23	245.25	3.75	98.47	248.33	5.00	97.99	275.75	4.50	98.37	335.00	1.00	99.70
12	Sep-05	305.75	3.50	98.86	272.50	3.00	98.90	313.00	1.33	99.57	327.33	3.33	98.98	248.00	2.00	99.19
13	Okt 05	229.75	3.75	98.37	211.75	3.25	98.47	209.75	5.00	97.62	136.33	3.50	97.43	-	-	-
14	Novmbr 05	-	-	-	243.00	2.00	99.18	259.50	2.75	98.94	256.25	6.50	97.46	294.00	3.50	98.81
15	Des 05	208.80	2.00	99.04	212.00	3.25	98.47	205.50	1.75	99.15	210.67	1.67	99.21	228.00	1.00	99.56
16	Januari 06	288.50	2.25	99.22	231.00	3.00	98.70	246.75	2.00	99.19	248.75	5.50	97.79	246.00	4.00	98.37
17	Februari 06	267.25	5.00	98.13	191.50	4.25	97.78	194.50	4.50	97.69	158.67	4.00	97.48	-	-	-
18	Maret 06	136.75	4.75	96.53	120.67	3.00	97.51	128.67	2.67	97.93	149.67	4.00	97.33	148.00	3.00	97.97
19	Apr-06	159.25	2.75	98.27	215.50	14.50	93.27	169.33	10.33	93.90	185.33	3.67	98.02	-	-	-
20	Mei 06	149.50	5.75	96.15	204.50	10.00	95.11	254.75	3.25	98.72	256.50	4.50	98.25	199.50	2.00	99.00
21	Juni 06	253.00	2.00	99.21	195.25	3.75	98.08	141.25	4.00	97.17	246.67	6.33	97.43	247.75	3.00	98.79

Sumber : Data dan Perhitungan

4. Kualitas NH₃ bebasTabel 4.8 Analisa Kualitas NH₃

NO	BULAN	NH ₃														
		WEEK 1			WEEK 2			WEEK 3			WEEK 4			WEEK 5		
		IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)
1	Okt 04	2.35	0.00011	100.00	-	-	-	2.05	0.00012	99.99	-	-	-	2.074	0.0001	100.00
2	Nov 04	-	-	-	2.107	0.0001	100.00	-	-	-	-	-	-	2.081	0.0001	100.00
3	Des 04	2.0317	0.0001	100.00	-	-	-	2.0713	0.0001	100.00	-	-	-	2.0814	0.00013	99.99
4	Januari 05	2.039	0.00015	99.99	-	-	-	-	-	-	2.074	0.0001	100.00	-	-	-
5	Februari 05	2.078	0.00015	99.99	-	-	-	2.073	0.00011	99.99	-	-	-	2.052	0.0001	100.00
6	Maret 05	-	-	-	2.065	0.00013	99.99	-	-	-	-	-	-	2.083	0.0001	100.00
7	Apr-05	2.12	0.0001	100.00	-	-	-	2.071	0.00012	99.99	-	-	-	2.095	0.0001	100.00
8	Mei 05	2.17	0.0001	100.00	-	-	-	2.089	0.00014	99.99	-	-	-	1.78	0.0001	99.99
9	Juni 05	2.083	0.0001	100.00	2.076	0.00012	99.99	-	-	-	-	-	-	2.074	0.0001	100.00
10	Juli 05	-	-	-	2.078	0.0001	100.00	-	-	-	2.064	0.0001	100.00	2.074	0.0001	100.00
11	Agust 05	2.068	0.00012	99.99	-	-	-	2.059	0.00011	99.99	-	-	-	2.074	0.0001	100.00
12	Sep-05	2.065	0.0001	100.00	-	-	-	-	-	-	2.076	0.00012	99.99	2.074	0.0001	100.00
13	Okt 05	-	-	-	2.082	0.00013	99.99	-	-	-	2.074	0.0001	100.00	-	-	-
14	Novmbr 05	-	-	-	2.076	0.0001	100.00	2.081	0.00012	99.99	-	-	-	2.074	0.0001	100.00
15	Des 05	2.072	0.00011	99.99	2.072	0.00012	99.99	-	-	-	-	-	-	2.074	0.0001	100.00
16	Januari 06	-	-	-	2.083	0.00012	99.99	-	-	-	2.073	0.0001	100.00	2.074	0.0001	100.00
17	Februari 06	2.073	0.00011	99.99	-	-	-	2.071	0.00012	99.99	2.063	0.0001	100.00	-	-	-
18	Maret 06	2.065	0.0001	100.00	2.075	0.00012	99.99	-	-	-	-	-	-	2.074	0.0001	100.00
19	Apr-06	2.072	0.0001	100.00	-	-	-	2.074	0.0001	100.00	-	-	-	2.068	0.00012	99.99
20	Mei 06	2.072	0.0001	100.00	-	-	-	2.064	0.00012	99.99	-	-	-	2.078	0.0001	100.00
21	Juni 06	2.075	0.0001	100.00	2.076	0.00012	99.99	-	-	-	-	-	-	2.068	0.0001	100.00

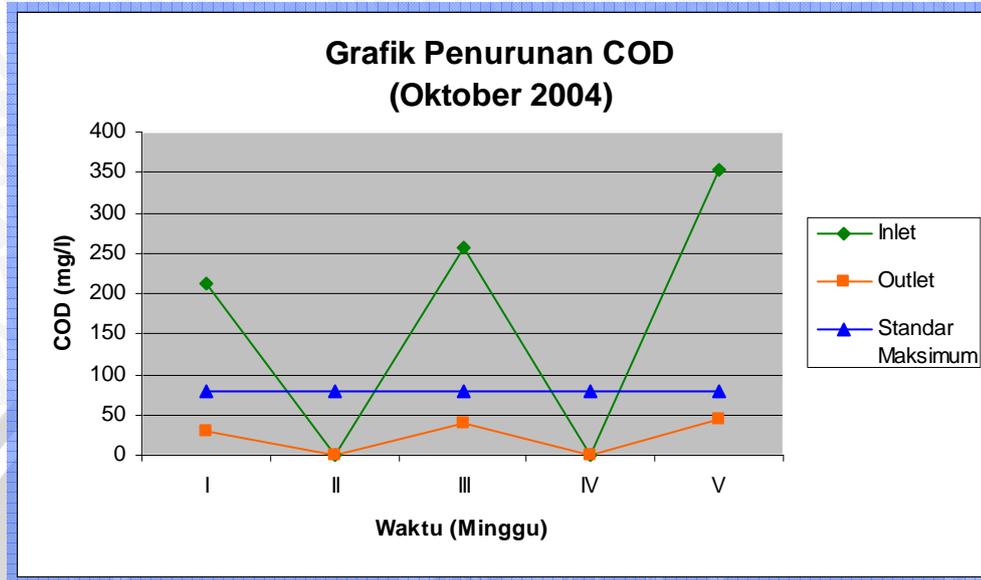
Sumber : Data dan Perhitungan

5. Kualitas P-PO₄Tabel 4.9 Analisa Kualitas P-PO₄

NO	BULAN	P-PO ₄														
		WEEK 1			WEEK 2			WEEK 3			WEEK 4			WEEK 5		
		IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)	IN	OUT	Eff (%)
1	Okt 04	1.2	1.0436	13.03	-	-	-	1.17	1.0723	8.35	-	-	-	1.09	1.0354	5.01
2	Nov 04	-	-	-	1.23	1.024	16.75	-	-	-	-	-	-	1.125	1.011	10.13
3	Des 04	1.05	1.012	3.62	-	-	-	1.042	1.0105	3.02	-	-	-	1.123	1.0354	7.80
4	Januari 05	1.074	1.047	2.51	-	-	-	-	-	-	1.09	1.0354	5.01	-	-	-
5	Februari 05	1.056	1.01	4.36	-	-	-	1.05	1.012	3.62	-	-	-	1.12	1.0175	9.15
6	Maret 05	-	-	-	1.068	1.034	3.18	-	-	-	-	-	-	1.082	1.0265	5.13
7	Apr-05	1.143	1.025	10.32	-	-	-	1.253	1.047	16.44	-	-	-	1.089	1.043	4.22
8	Mei 05	1.25	1.021	18.32	-	-	-	1.197	1.031	13.87	-	-	-	1.089	1.0286	5.55
9	Juni 05	1.078	1.043	3.25	1.082	1.024	5.36	-	-	-	-	-	-	1.09	1.0354	5.01
10	Juli 05	-	-	-	1.075	1.027	4.47	-	-	-	1.086	1.037	4.51	1.09	1.0354	5.01
11	Agust 05	1.078	1.027	4.73	-	-	-	1.068	1.0327	3.31	-	-	-	1.09	1.0354	5.01
12	Sep-05	1.07	1.045	2.34	-	-	-	-	-	-	1.085	1.027	5.35	1.09	1.0354	5.01
13	Okt 05	-	-	-	1.084	1.037	4.34	-	-	-	1.09	1.0354	5.01	-	-	-
14	Novmbr 05	-	-	-	1.083	1.046	3.42	1.093	1.027	6.04	-	-	-	1.09	1.0354	5.01
15	Des 05	1.085	1.025	5.53	1.083	1.0275	5.12	-	-	-	-	-	-	1.09	1.0354	5.01
16	Januari 06	-	-	-	1.074	1.032	3.91	-	-	-	1.068	1.028	3.75	1.073	1.0354	3.50
17	Februari 06	1.075	1.028	4.37	-	-	-	1.073	1.026	4.38	1.082	1.0354	4.31	-	-	-
18	Maret 06	1.08	1.027	4.91	1.072	1.028	4.10	-	-	-	-	-	-	1.09	1.0354	5.01
19	Apr-06	1.092	1.027	5.95	-	-	-	1.083	1.027	5.17	-	-	-	1.087	1.036	4.69
20	Mei 06	1.073	1.034	3.63	-	-	-	1.074	1.031	4.00	-	-	-	1.085	1.028	5.25
21	Juni 06	1.079	1.034	4.17	1.075	1.023	4.84	-	-	-	-	-	-	1.086	1.0279	5.35

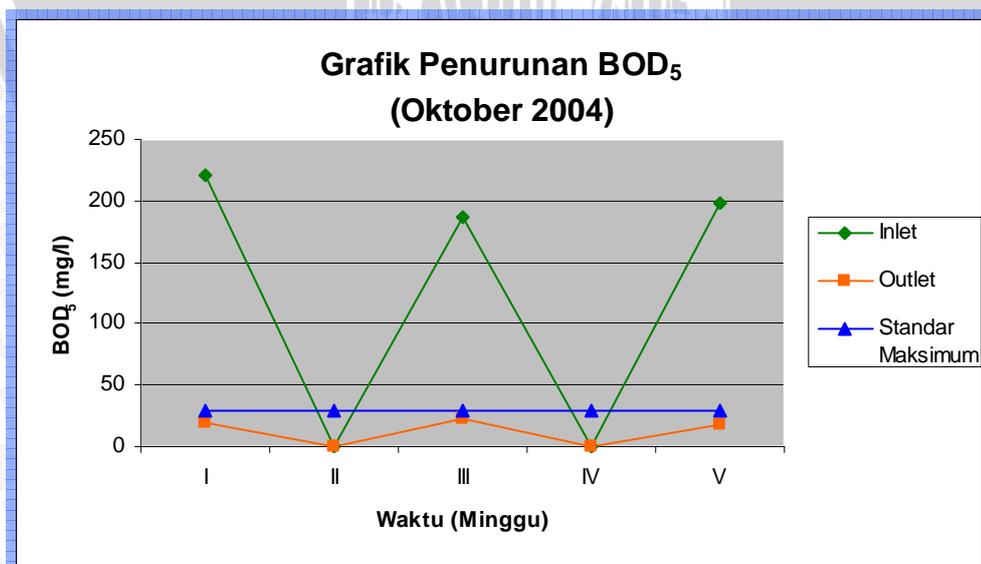
Sumber : Data dan Perhitungan

Untuk melihat seberapa besar fluktuasi efektivitas IPAL dalam menurunkan kadar COD, BOD, NH₃, P-PO₄, maka ditampilkan contoh analisa kualitas air untuk bulan oktober 2004 dalam grafik berikut :



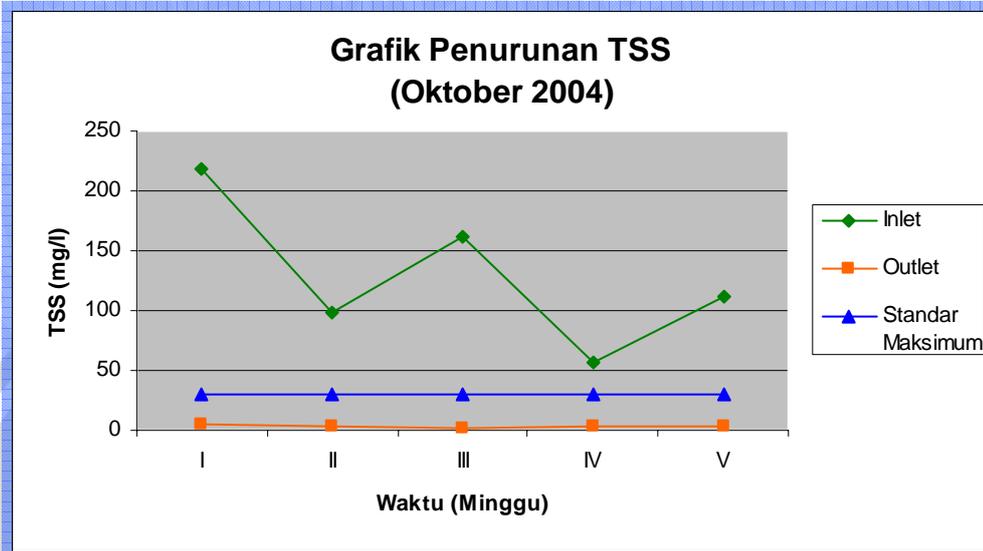
Gambar 4.9. Grafik Penurunan COD Bulan Oktober 2004
 Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

Dari grafik diatas dapat dilihat kenaikan kadar COD tertinggi di outlet terjadi pada minggu V berkisar 350 mg/l. Tetapi hasil maksimum outletnya 45 mg/l masih dibawah batas maksimum yang diijinkan. Terdapat nilai nol diatas menunjukkan tidak dilakukan pengujian, sehingga untuk bulan oktober 2004 hanya dilakukan pengujian COD selama 3 kali.



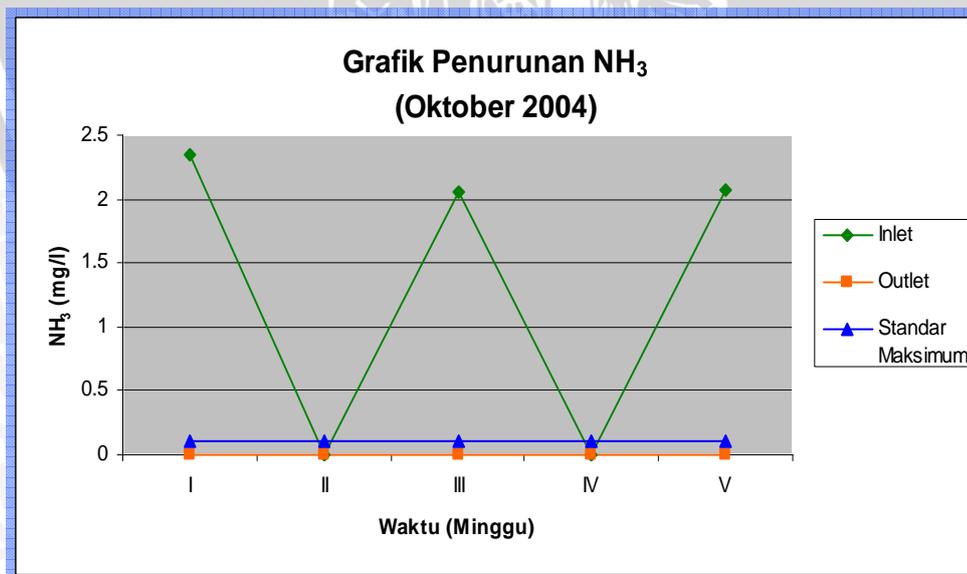
Gambar 4.10. Grafik Penurunan BOD Bulan Oktober 2004
 Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

Untuk pengurangan BOD dapat disimpulkan bahwa hasil outletnya berkisar 20 – 45 mg/l masih dibawah standar maksimum yang diijinkan 80 mg/l, sehingga bisa dikatakan IPAL ini efektif untuk mengurangi kadar COD sampai dengan 90%.



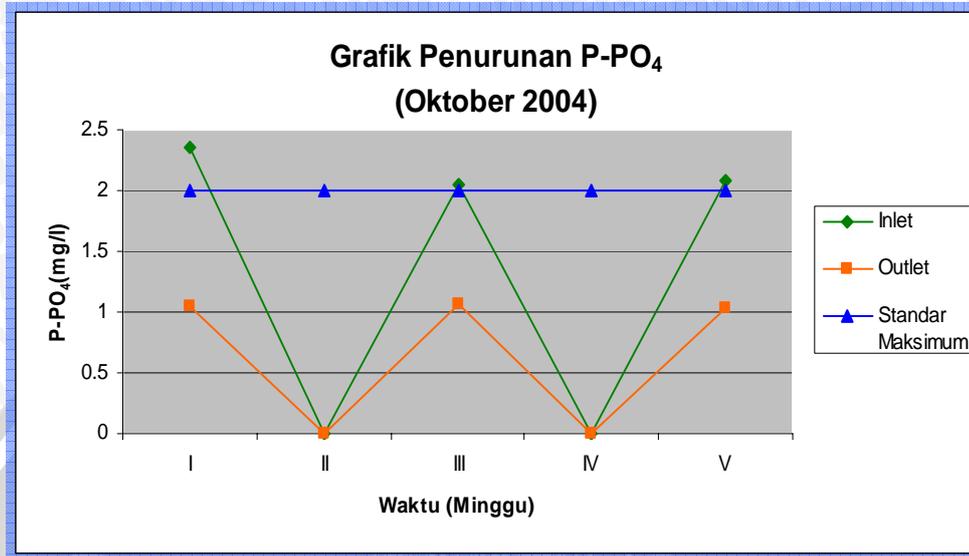
Gambar 4.11. Grafik Penurunan TSS Bulan Oktober 2004
 Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

Pengujian terhadap TSS dilakukan setiap minggu pada bulan oktober 2004, sehingga untuk bulan ini dilakukan lima kali pengujian. Nilai di outlet relatif besar, tetapi outletnya hanya mencapai kisaran 5 mg/l. Efektivitas pengurangannya hingga mencapai 99%.



Gambar 4.12. Grafik Penurunan NH₃ Bulan Oktober 2004
 Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

Diantara kelima parameter kualitas air limbah diatas, yang paling efektif adalah dalam menurunkan kadar NH_3 . Efektivitas yang dicapai sampai 100%.



Gambar 4.13. Grafik Penurunan P-PO₄ Bulan Oktober 2004
 Sumber : Data IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban dan Analisa

Walaupun dari hasil perhitungan dan analisa diperoleh hanya berkisar antara 3% – 13% saja efektivitas bangunan dalam mengurangi kadar P-PO₄, tetapi outlet yang dihasilkan masih dibawah standar maksimum yang diijinkan, sehingga masih aman dan diperbolehkan. Untuk tabel data laporan harian dan grafik bulan-bulan selanjutnya ditampilkan pada lampiran.

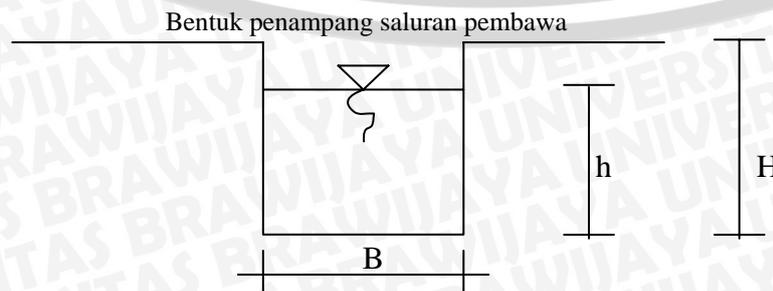
4.6. Evaluasi Saluran Pembawa, Bak FBBR

4.6.1. Saluran Pembawa

Dalam perhitungan kapasitas saluran, harus memperhatikan bentuk dari penampang saluran. Jenis saluran ini adalah berupa selokan dari pasangan beton yang berbentuk segi empat.

Diketahui data-data sebagai berikut :

- a. Ukuran Penampang :



- Lebar Saluran (B) = 30 cm
- Tinggi Saluran (H) = 50 cm
- b. Debit Air Limbah = 40,19 m³/jam = 0,0112 m³/dt
- c. Untuk menghindari pengendapan dari kotoran padat dan tumbuhnya tanaman aquatik, maka kecepatan minimum = 5 cm/dt (Suharjono, 1984:79). Sedangkan kecepatan maksimum dipengaruhi oleh jenis material (SNI 03 – 3424 – 1994 : 7). Kecepatan aliran air yang diijinkan berdasarkan jenis material = 1,5 m/dt
- d. Koefisien kekasaran Manning untuk pasangan beton = 0,020 (Chow, 1992 : 99)
- e. Kemiringan saluran = 0,02 (diketahui)
- f. Kekentalan kinematik air pada suhu 30°C (ν) = 8,06 x 10⁻⁷ m²/dt. (Sularso, 1985 : 24)

Perhitungan :

B. Analisa kondisi Eksisting

Kapasitas saluran yang ada dengan menggunakan persamaan :

$$A = B h$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Misal freeboard = 15 cm, maka h = 50-15 = 35 cm

$$Q_{\text{sal}} = A v$$

$$= B h \frac{1}{n} \left[\frac{Bh}{B + 2h} \right]^{2/3} S^{1/2}$$

$$= 0,3 \cdot 0,35 \cdot \frac{1}{0,02} \left[\frac{0,3 \cdot 0,35}{0,3 + 2 \cdot 0,35} \right]^{2/3} 0,02^{1/2}$$

$$= 0,1652 \text{ m}^3/\text{dt} > 0,0112 \text{ m}^3/\text{dt} (Q_{\text{limbah}})$$

Dari hasil analisa diatas dapat dilihat bahwa perhitungan kapasitas saluran pembawa yang ada adalah bahwa debit yang keluar dari saluran kurang dari debit hitungan pada kondisi yang ada. Jadi dapat disimpulkan bahwa kapasitas saluran yang ada dipandang cukup untuk menampung aliran air limbah yang lewat saluran.

C. Analisa kondisi aliran

a. Menghitung kedalaman normal aliran (h)

$$Q = A v$$

$$Q = B h \frac{1}{n} \left[\frac{Bh}{B + 2h} \right]^{2/3} S^{1/2}$$

$$0,0112 = 0,3 \cdot h \cdot \frac{1}{0,02} \left[\frac{0,3 \cdot h}{0,3 + 2 \cdot h} \right]^{2/3} 0,02^{1/2}$$

$$0,0112 = 2,1213h \left[\frac{0,3 \cdot h}{0,3 + 2 \cdot h} \right]^{2/3}$$

$$\frac{0,0052797}{h} = \left[\frac{0,3 \cdot h}{0,3 + 2 \cdot h} \right]^{2/3}$$

$$\frac{0,03032}{h^{3/2}} = \frac{0,3 \cdot h}{0,3 + 2 \cdot h}$$

$$0,009096 + 0,06064h = 0,3h^{5/2}$$

$$0,3h^{5/2} - 0,06064h = 0,009096$$

Dengan cara coba-coba maka didapatkan

$$h = 0,42186 \text{ m} = 42,186 \text{ cm}$$

b. Kecepatan aliran dalam saluran

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,02} \left[\frac{0,3 \cdot 0,4044}{0,3 + 2 \cdot 0,4044} \right]^{2/3} 0,02^{1/2}$$

= 0,16297 m/dt.....(Karena $v = 0,3803 \text{ m/dt} < \text{batas kecepatan yang telah diijinkan (1,5 m/dt)}$, maka aman dari bahaya penggerusan).

c. Kondisi aliran pada saluran dengan bilangan Froude digunakan persamaan :

$$Fr = \frac{v}{(gh)^{1/2}}$$

$$= \frac{0,16297}{(9,81 \cdot 0,42186)^{1/2}}$$

$$= 0,08011 < 1 \text{ (Aliran Sub kritis)} \rightarrow \text{Aman}$$

d. Kondisi aliran pada saluran dengan bilangan Reynold

$$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{(0,3,0,42186)}{0,3+(2,0,42186)}$$

$$= 0,11065 \text{ m}$$

$$Re = \frac{vR}{\nu}$$

$$= \frac{0,16297 \cdot 0,11065}{8,06 \times 10^{-7}}$$

$$= 22372,99 > 4000 \dots \dots \dots (\text{Aliran turbulen}) \longrightarrow \text{Memenuhi syarat}$$

sehingga aman terhadap bahaya pengendapan di dasar saluran akibat turbulensi aliran.

4.6.2. Bak FBBR

Pada bak FBBR ini merupakan tempat dilakukan proses aerasi dan penanaman media serta sebagai tempat untuk mencampurkan bahan koagulan dengan air limbah. Bak ini berbentuk segi empat dengan ukuran penampang sebagai berikut :

- Debit yang masuk ke bak (Q) = 0.0112 m³/dt
- Kandungan partikel suspensi = 341,33 mg/l
- Kandungan koagulan = 8425,71 mg/l
- Diameter butiran diketahui = 0,065mm = 0,000065 m
- Berat jenis butiran diketahui = 2,74 g/ml
- Kekentalan kinematik air pada suhu 30°C (ν) = 8,06 x 10⁻⁷ m²/dt
- Faktor gesekan Darcy-Weisbach (f) = 0,025
- Ukuran penampang :
 FBBR₁ = 2,5 m x 2 m
 FBBR₂ = 2,5 m x 2 m
 Kedalaman aliran = 0,5 m

Perhitungan :

- Analisa kapasitas bak FBBR₁ (kondisi eksisting)

- a. Besarnya kecepatan rata-rata mengendap partikel (v_s) kearah bawah adalah:

$$\begin{aligned} v_s &= \frac{\rho_s - \rho_f}{18\nu} g \cdot D^2 \\ &= \frac{2,74 - 1}{18(8,06 \times 10^{-7})} \cdot 9,81 \cdot 0,000065^2 \\ &= 0,00497 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

- b. Kecepatan maksimum yang diijinkan (v_m)

$$\begin{aligned} v_m &= v_s \left(\frac{8}{f} \right)^{0,5} \\ &= 0,00497 \left(\frac{8}{0,025} \right)^{0,5} \\ &= 0,08891 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

- c. Besarnya kecepatan aliran horisontal (v_d)

$$\begin{aligned} v_d &= \frac{Q}{BH} \\ &= \frac{0,0112}{2,5 \cdot 2} \\ &= 0,00223 \text{ m/dt} \dots \dots \dots (v_d < v_s < v_m) \end{aligned}$$

Kontrol :

Agar partikel mendapat kesempatan mengendap pada daerah pengendapan, maka harus memenuhi syarat :

$$B \cdot L > \frac{Q}{v_s}$$

$$2,5 \cdot 2 = 5 \text{ m}^2 > \frac{0,0112}{0,00497} = 2,2535 \text{ m}^2 \text{ (memenuhi syarat)}$$

B. Analisa kondisi aliran

Untuk memenuhi syarat aman terhadap bahaya resuspensi pada dasar bak dan short circuiting (kecepatan horisontal yang tidak tetap, yang berarti seluruh partikel memiliki waktu tendensi yang tidak sama) maka dimensi bangunan harus memenuhi syarat bilangan reynold (Re) < 2000 dan bilangan Froude < 1

- a. Besarnya bilangan Froude :

$$Fr = \frac{v}{(gh)^{1/2}}$$

$$Fr = \frac{0,00223}{(9,81 \cdot 0,5)^{1/2}}$$

$$= 0,00101 < 1 \dots \dots \dots (\text{aliran sub kritis}) \longrightarrow \text{memenuhi syarat}$$

b. Perhitungan bilangan Reynold (Re)

$$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{2,5 \times 2}{2,5 + (2 \times 2)}$$

$$= 0,7692 \text{ m}$$

$$Re = \frac{vR}{\nu}$$

$$= \frac{0,00223 \times 0,7692}{8,06 \times 10^{-7}}$$

$$= 2128,268 \dots \dots \dots \text{karena } 2000 < Re < 4000, \text{ maka aliran ini adalah}$$

aliran transisi yang lebih dekat dengan aliran laminar dan salah satu syarat aman belum terpenuhi sehingga bahaya terhadap pengendapan pada dasar bak.

Aliran transisi (cenderung laminar) terjadi apabila ketinggian air limbah dangkal. Jika melihat hasil dari perhitungan diatas, pada Bak FBBR₁ ini masih belum memenuhi syarat aman, sehingga salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan cara mengoptimalkan kerja mixer sebagai pengaduk dan penyemprotan air pada bak FBBR₂ untuk mengurangi pengendapan sehingga menciptakan turbulensi pada aliran.

D. Menghitung waktu tinggal air limbah

$$t = \frac{V}{Q}, \text{ dimana } V = \text{Volume bak}$$

$$V = L \cdot B \cdot H$$

$$V = 2 \cdot 2,5 \cdot 0,5$$

$$V = 2,5 \text{ m}^3$$

$$Q = 40,19 \text{ m}^3/\text{h}$$

Maka, waktu tinggal air limbah

$$\begin{aligned}
 (t) &= \frac{2,5}{40,19} \\
 &= 0,0622 \text{ jam} \\
 &= 3,732 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

E. Besarnya pengurangan konsentrasi suspended solid (SS)

Diketahui :

- Debit yang masuk bak (Q) = 0,0112 m³/dt
- Kandungan partikel suspensi = 341,33 mg/l
- Kandungan koagulan = 8425,71 mg/l
- Diameter butiran diketahui = 0,065mm = 0,000065 m
- Berat jenis butiran diketahui = 2,74 g/ml

Perhitungan :

a. Debit sedimen yang mengendap (Q_s) :

$$\begin{aligned}
 Q_s &= v_s \cdot A \\
 &= 0,00497 \cdot 2,5 \cdot 2 \\
 &= 0,02485 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

b. Volume sedimen yang mengendap (V_s)

$$\begin{aligned}
 V_s &= Q_s \cdot t \\
 &= 0,02485 \cdot 0,0622 \cdot 3600 \\
 &= 5,5644 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

c. Berat sedimen yang mengendap (W_s)

$$\begin{aligned}
 W_s &= V_s \cdot \rho_s \\
 &= 5,5644 \cdot 2,74 \\
 &= 15,2465 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

d. Pengurangan kandungan SS = $\frac{15,2465}{2,5 \cdot 2 \cdot 0,5}$

$$= 6,0986 \text{ kg/m}^3 = 6098,6 \text{ mg/l}$$

e. Besar kandungan suspended solid setelah dicampur koagulan (MLSS) =

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{total}} &= Q_{\text{limbah}} + Q_{\text{koagulan}} \\
 &= 0,0112 \text{ m}^3/\text{dt} + 0,25 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= 0,0112 \text{ m}^3/\text{dt} + 0,00007 \text{ m}^3/\text{dt} \\
 &= 0,01123 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kandungan Total suspended solid} = 341,33 \text{ mg/l}$$

$$\text{Kandungan koagulan (MLSS)} = 8425,71 \text{ mg/l}$$

$$Q_{ss} = 0,0112 \text{ m}^3/\text{dt} \cdot 341,33 \cdot 1000 \text{ mg/m}^3$$

$$Q_{ss} = 3810,61 \text{ mg/dt}$$

$$Q_{\text{koagulan}} = 0,5 \cdot 24 \cdot 8425,71 \\ = 101108,52 \text{ mg/dt}$$

$$Q_{ss} + Q_{\text{koagulan}} = 3810,61 + 101108,52 = 104919,13 \text{ mg/dt}$$

Kandungan suspended solid :

$$= \frac{104919,13 \text{ mg/dt}}{0,0112 \text{ m}^3/\text{dt}}$$

$$= 9367779,464 \text{ mg/m}^3 \cdot 0,001 \text{ mg/l}$$

$$= 9367,7795 \text{ mg/l}$$

f. Prosentase suspended solid yang dapat dihilangkan

$$= \frac{6098,6}{9367,7795} \cdot 100\%$$

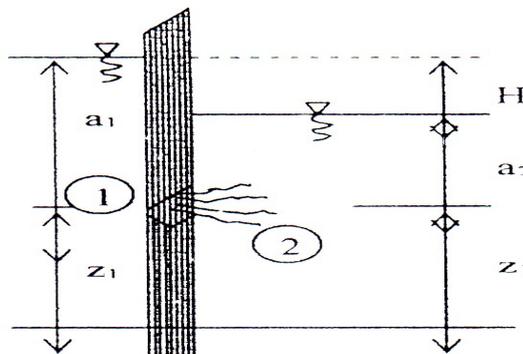
$$= 65,10 \%$$

g. Suspended solid yang tersisa = $9367,7795 - 6098,6 = 3269,1795 \text{ mg/l}$.

Pada perencanaan awal, pada bak FBBR ini diharap bisa mengurangi kandungan suspended solid mencapai 40 – 80 %. Dari hasil perhitungan diatas, didapat konsentrasi suspended pada effluent bak FBBR₁ sebesar 6098,6 mg/l dengan prosentase pengurangannya mencapai 65,10 %, sehingga bisa dikatakan sudah sesuai dengan perencanaan awal.

4.7. Menghitung Kecepatan Aliran di Lubang Pemasukan

Lubang pemasukan ini adalah lubang pengaliran (orifice) yang berbentuk segi empat. Pengaliran dalam lubang tergenang dapat dilihat sebagai berikut :



Diketahui :

- Debit Aliran (Q) = $0,0112 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Lebar lubang pengaliran (b) = $0,4 \text{ m}$
- Tinggi lubang pengaliran = $0,3 \text{ m}$
- Luas lubang pengaliran = $0,4 \cdot 0,3 = 0,12 \text{ m}^2$
- Koefisien Debit (C_d) = $0,62$
- Koefisien kecepatan (C_v) = $0,9$

Perhitungan :

- Menghitung selisih tinggi muka air 1 dengan 2, maka :

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gH}$$

$$0,0112 = 0,62 \cdot 0,12 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot H)^{0,5}$$

$$0,0112 = 0,0744 \cdot 4,429H^{0,5}$$

$$0,1505 = H^{0,5}$$

$$H = 0,0226 \text{ m} = 2,26 \text{ cm}$$

- Menghitung kecepatan aliran yang lewat lubang :

$$v_c = C_v \cdot \sqrt{2gH}$$

$$= 0,9 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 0,0226)$$

$$= 0,399 \text{ m/dt} \dots \dots \dots (0,05 \text{ m/dt} < 0,399 \text{ m/dt} < 1,5 \text{ m/dt})$$

Berdasarkan kecepatan aliran yang diijinkan sesuai dengan jenis material yaitu untuk jenis pasangan beton sebesar $1,5 \text{ m/dt}$ (Suhardjono, 1984 : 78). Dari hasil analisa diatas, terlihat bahwa perhitungan kapasitas lubang pemasukan yang ada lebih kecil dari kecepatan aliran yang diijinkan sehingga aman terhadap penggerusan di bagian dasar saluran.

4.8. Pompa

Diketahui :

- Debit air limbah (Q_s) = $0,0112 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Kapasitas pompa (Q_k) = $0,022 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Effisiensi pompa = 80%
- Waktu yang diperlukan selama kebutuhan puncak (t_p) = 24 jam

Perhitungan :

Pengoperasian Pompa :

- Jumlah Pompa

$$Q_{\text{pompa}} = 0,80 \cdot 0,022 \\ = 0,0176 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$N = \frac{Q_s}{Q_{\text{pompa}} \cdot \frac{24}{t}} \\ = \frac{0,0112}{0,0176 \cdot \frac{24}{24}} \\ = 0,636 \approx 1$$

jadi jumlah pompa adalah $1 + 1 = 2$ buah, dimana 1 adalah sebagai cadangan. Dilokasi terdapat dua buah pompa, tetapi yang dioperasikan hanya 1 (1 cadangan) sehingga untuk jumlah pompa yang ada dilokasi sudah sesuai dengan perhitungan kebutuhan akan pompa.

- Lama operasi pompa

$$T = \frac{Q_s}{Q_{\text{pompa}}} \cdot t_p \\ = \frac{0,0112}{0,0176} \cdot 24 \\ = 15,27 \text{ jam} \approx 16 \text{ jam (untuk 1 pompa)}$$

maka lama operasi pompa = $\frac{16}{1} = 16$ jam.

4.9. Evaluasi Terhadap Faktor Pengurangan Efektivitas IPAL Dalam Mengolah Limbah

4.9.1. Jumlah Karyawan di IPAL dan Jadwal Kerja

Untuk tim dari IPAL RSUD dr. R. Koesma Tuban ini terdiri dari 8 orang dengan spesifikasi sebagai berikut :

- 2 orang bertanggung jawab atas perawatan mesin dan peralatan IPAL
- 3 orang bertanggung jawab terhadap proses dan kebersihan IPAL
- 3 orang sebagai laboran IPAL (Biologi dan Kimiawi)

Dasar pendidikan yang dikuasai meliputi :

- 1 orang lulusan Akademi Teknik Medis
- 2 orang lulusan STM Mesin

- 1 orang lulusan Akademi Kesehatan Lingkungan
- 2 orang lulusan SPPH
- 1 orang lulusan SD

Jika dilihat dari jenjang pendidikan yang ada, belum ada yang memiliki sertifikasi S1 dari kesehatan masyarakat maupun teknik lingkungan. Tetapi untuk membekali pengetahuan tentang operasional serta perawatan IPAL, seorang karyawan dengan latar belakang pendidikan dari Akademi Teknik Medis dikirim ke Korea untuk mengikuti pelatihan selama 1 bulan.

Jadwal kerja atau pengoperasian IPAL masih belum kontinu. Terkadang dalam seminggu IPAL hanya beroperasi selama 3 hari sampai 5 hari saja, sedangkan kegiatan dari Ruang Rawat Inap, Dapur, Laundry tetap berjalan dan semuanya menghasilkan limbah cair. Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada laporan harian pengoperasian yang terlampir.

4.9.2. Kelengkapan Alat-alat Laboratorium, Peralatan Mekanik, Alat Ukur

4.9.2.1. Peralatan Uji Laboratorium

Untuk alat uji laboratorium di IPAL yang lengkap hanya untuk pengukuran Total Suspended Solid (TSS) dan Chemical Oksigen Demand (COD). Sedangkan untuk uji BOD, NH_3 , P-PO_4 masih ada beberapa larutan pereaksi yang tidak punya ataupun hanya memiliki persediaan yang terbatas. Hal inilah mengapa terkadang tes uji kualitas air tidak bisa dilakukan walaupun IPAL sedang beroperasi.

4.9.2.2. Peralatan Mekanik dan Alat Ukur

Untuk alat mekanik yang jarang dipergunakan yaitu Incenerator (Alat Pembakar Lumpur). Dalam proses dewatering (pengeringan lumpur dan diberi larutan FeCl_3) akan menghasilkan cake lumpur yang berupa lembaran. Pada proses dewatering dan pembakaran ini melalui proses yang cukup rumit dan biaya perawatan alatnya yang mahal, sehingga jarang digunakan. Lumpur yang tidak melalui proses ini akan dikeluarkan dengan cara digelontor bersamaan dengan air hasil olahan ke saluran drainase kota. Hal ini merupakan salah satu penyebab berkurangnya efektivitas IPAL dalam hal mengolah limbah.

Alat ukur kecepatan alir di IPAL ini ada dua, yaitu alat ukur manual Thompson (V Notch Flow) dan alat ukur otomatis Parshal Flume. Pada bulan

Maret 2006, alat ukur otomatis parshal mengalami kerusakan sehingga untuk bagian outlet IPAL kecepatan alirnya diukur secara manual juga. Hal inilah yang menyebabkan keakuratan data dalam hal pengukuran kecepatan menjadi berkurang.

