



TUGAS AKHIR - RE141518

**EVALUASI KINERJA DAN REVIEW
PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH (IPAL) NON TOKSIK RUMAH SAKIT X**

**Muzdalifah Nur Jannah
NRP 3311100053**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.**

**Dosen Co.Pembimbing
Ir. Didik Bambang Supriyadi, M.T.**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE141518

**THE PERFORMANCE EVALUATION AND
DESIGN REVIEW OF NON TOXIC
WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP)
IN X HOSPITAL**

**Muzdalifah Nur Jannah
NRP 3311100053**

**Supervisor
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.**

**Co.Supervisor
Ir. Didik Bambang Supriyadi, M.T.**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPARTMENT
Civil Engineering and Planning Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) NON- TOKSIK RUMAH SAKIT X

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada

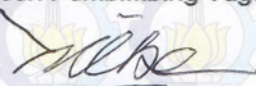
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUZDALIFAH NUR JANNAH
NRP. 3311100053

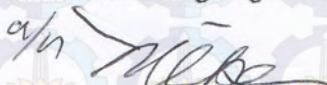
Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.
NIP. 19550128 198503 2 001

Dosen Co-Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Didik Bambang S., M.T.
NIP. 19630705 199203 1 001



Evaluasi Kinerja dan *Review* Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah Non Toksik Rumah Sakit X
Mahasiswa : Muzdalifah Nur Jannah
NRP : 3311100053
Jurusan : Teknik Lingkungan
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke K, M.Sc
Co-Pembimbing : Ir. Didik Bambang S., MT

ABSTRAK

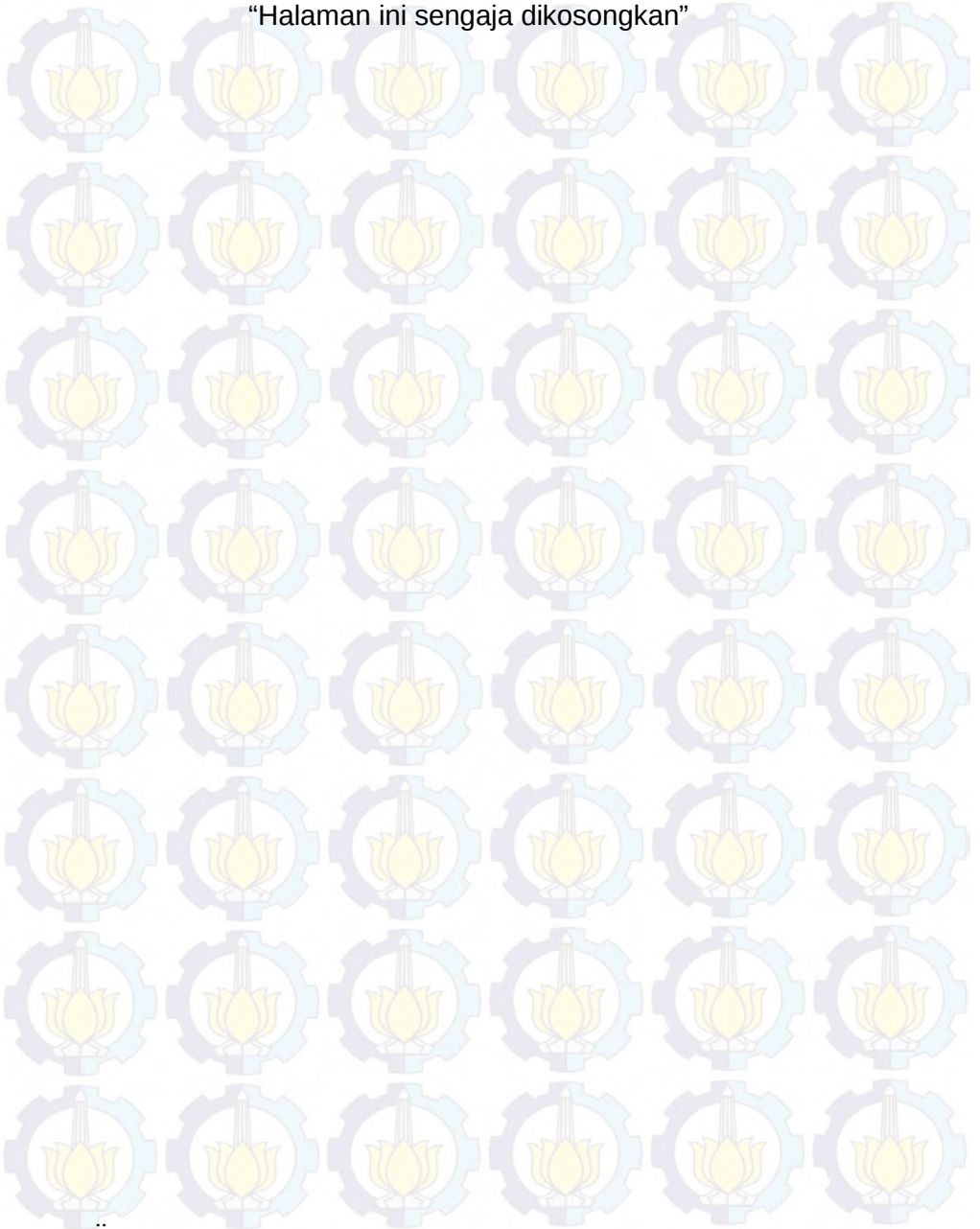
Limbah cair non toksik yang dihasilkan Rumah Sakit X terdiri dari limbah domestik dan limbah *laundry* dengan kualitas yang masih belum memenuhi Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah rumah sakit. Sehingga tujuan tugas akhir ini adalah melakukan evaluasi kinerja IPAL dan *review* perencanaan yang dilengkapi BOQ dan RAB pada IPAL yang tidak efisien dan efektif.

Tahap evaluasi kinerja IPAL terdiri dari evaluasi efisiensi kinerja IPAL untuk mengetahui kemampuan unit pengolahan biologis dalam meremoval bahan organik dan evaluasi efektivitas IPAL untuk mengetahui kualitas effluen yang dihasilkan telah memenuhi Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013.

Berdasarkan hasil evaluasi diketahui bahwa desain tiap unit IPAL tidak sesuai dengan kriteria desain. Selain itu, efisiensi pengolahan pada unit activated sludge masih rendah yaitu 26,13% dari efisiensi seharusnya 85%-95%. Sehingga perbaikan yang dilakukan dengan melakukan modifikasi desain, menambahkan pipa dan pompa lumpur untuk sistem resirkulasi dengan total biaya perbaikan yang dibutuhkan adalah sebesar Rp 101.250.523.

Kata kunci: Evaluasi kinerja, IPAL, Limbah cair non toksik, *Review* perencanaan, Rumah Sakit X

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



The Performance Evaluation and Design Review of Non Toxic Wastewater Treatment Plant (WWTP) in X Hospital

Name of Student : Muzdalifah Nur Jannah
NRP : 3311100053
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke K, M.Sc
Co-Supervisor : Ir. Didik Bambang S., MT

ABSTRACT

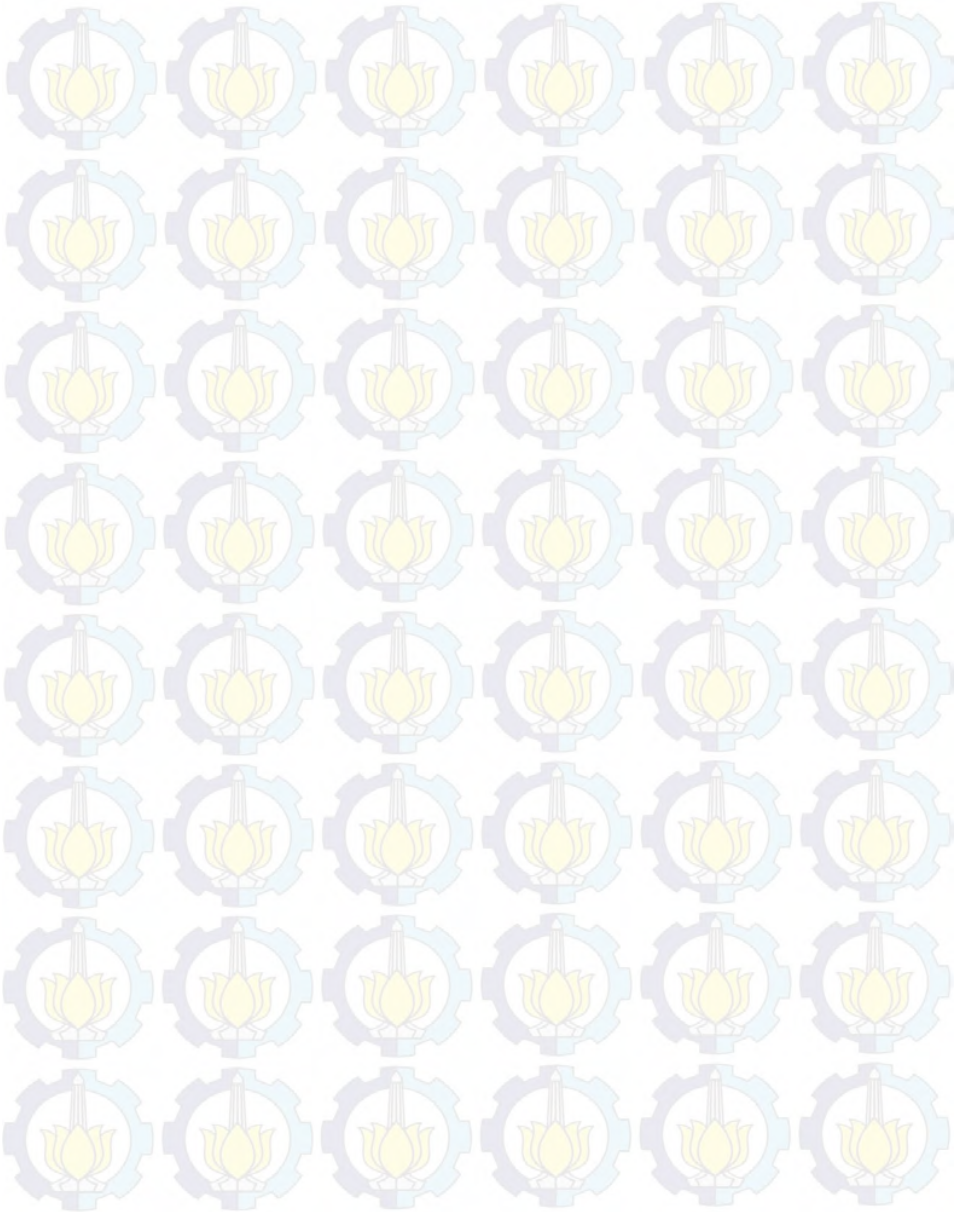
Non toxic wastewater in X Hospital that consists of domestic wastewater and laundry wastewater for the effluent quality still doesn't meet Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 regarding for the wastewater standard of hospital activity. So, the purpose of this thesis was to evaluate the performance, review planning of Wastewater Treatment Plant (WWTP) and make the planning of BOQ RAB for the WWTP which not efficient and effective.

The evaluation of WWTP performance are consists of evaluation based on efficiency value to determine the ability of biological treatment in reducing the organic materials and evaluation to determine the effectivity of WWTP in producing the quality of wastewater. The review planning stage is based on the technical aspect that compared with design criteria, the financial aspect is based on the BOQ and RAB planning.

The evaluation result for the design of WWTP such as the design of each WWTP is not like the design criteria and the efficiency of activated sludge process is 26,13%, the point shows the low efficiency, the efficiency criteria should be between 85% and 95%. The recommendation to make the design modifications and add slurry pipes and pump for recirculation system need the total cost is Rp 101.250.523.

Keyword(s): Design Review ,Non toxic wastewater, The Performance Evaluation, X hospital

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat serta hidayah-Nya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Tugas akhir dengan judul "Evaluasi Kinerja dan Review Perencanaan IPAL Non Toksik Rumah Sakit X".

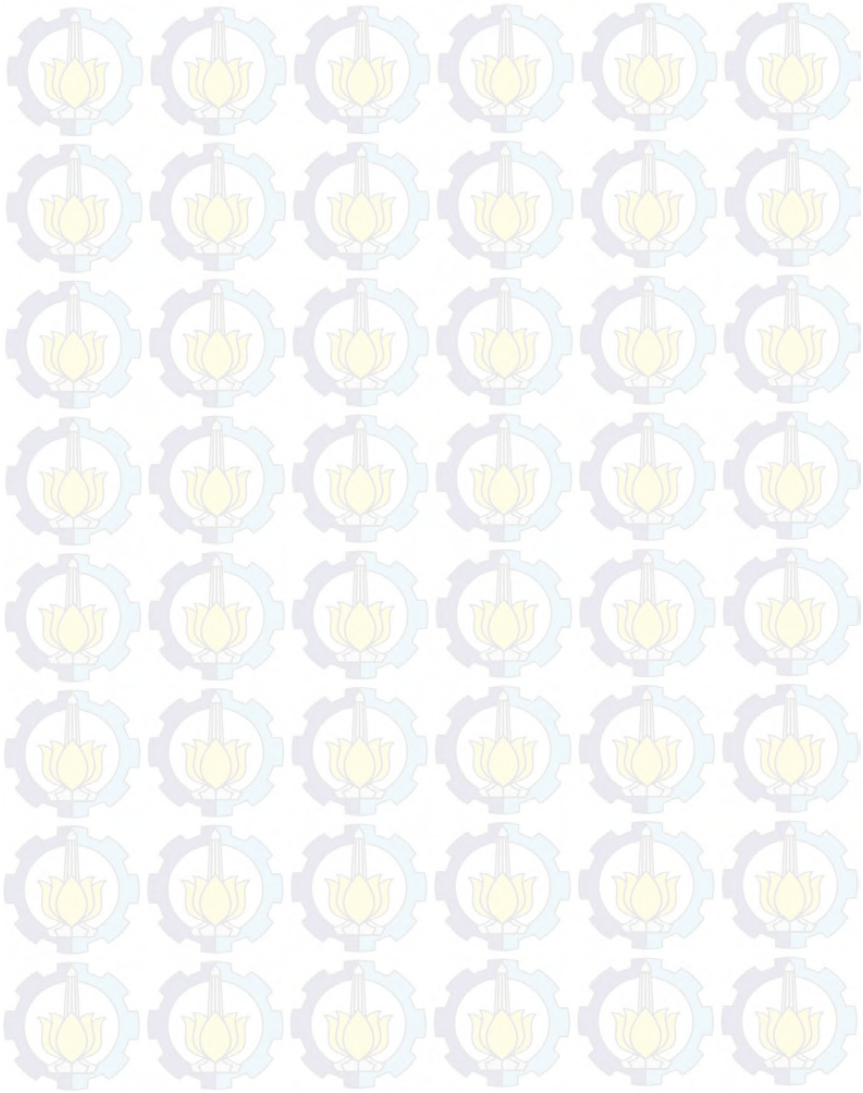
Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penyelesaian tugas akhir ini, terutama ditujukan kepada:

1. Aba dan mama yang selalu memberikan doa, motivasi dan dukungan atas tercapainya penyelesaian tugas akhir
 2. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnanigroem, Msc, selaku dosen pembimbing dan dosen wali atas segala bimbingan, motivasi dan pengarahan selama ini
 3. Bapak (alm.) Ir. Didik Bambang Supriyadi MT, selaku dosen co-pembimbing atas segala bimbingan, motivasi dan pengarahan yang diberikan selama ini
 4. Bapak Prof. Sarwoko M, Bapak Ir. M. Razif, MM dan Ibu Ir. Atiek Moesriati, Mkes selaku dosen penguji tugas akhir
 5. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST, MT, Mphil., PhD, selaku koordinator tugas akhir program S1 Teknik Lingkungan ITS
 6. Bapak Aria Suparmadja, ST, MT, selaku pembimbing di Rumah Sakit X atas segala ilmu, bimbingan dan dukungan penyelesaian tugas akhir
 7. Teman-teman TA, Aufa, Lutfi, Iqbal dan angkatan 2011 atas bantuan dan motivasi yang diberikan
- Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan diaplikasikan pada Rumah Sakit X. Kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 27 Juli 2015

Muzdalifah Nur Jannah
NRP. 3311100053

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Perencanaan	3
1.4 Ruang Lingkup Perencanaan	3
1.5 Manfaat Perencanaan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rumah Sakit	5
2.1.1 Klasifikasi Rumah Sakit	5
2.1.2 Jenis Limbah Rumah Sakit	6
2.2. Air Limbah Rumah Sakit	7
2.2.1 Klasifikasi Air Limbah Rumah Sakit	8
2.2.2 Kandungan Air Limbah Rumah Sakit	8
2.2.3 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit	9
2.3 Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit	12
2.3.1 Pengolahan Fisik	12
2.3.2 Pengolahan Biologis	15
2.3.3 Unit Filtrasi Air Limbah	18
2.3.4 Desinfeksi Air Limbah Rumah Sakit	18
2.3.5 Rumus yang Digunakan	19
2.3.6 Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit	20
2.3.7 Penelitian Terdahulu	21

BAB III GAMBARAN UMUM IPAL RUMAH SAKIT X

3.1 Sumber Air Limbah Rumah Sakit X.....	23
3.2 Sistem Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X.....	25

BAB IV METODE PERENCANAAN

4.1 Kerangka Perencanaan	31
4.2 Identifikasi Masalah	36
4.3 Studi Literatur	36
4.4 Pengumpulan Data	37
4.5 Analisa Data dan Pembahasan	40
4.6 Kesimpulan dan Saran	45

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit X	47
5.1.1 Karakteristik Fisik Air Limbah Rumah Sakit X	47
5.1.2 Karakteristik Kimiawi Air Limbah Rumah Sakit X	48
5.1.2.1 Hasil Uji pH	48
5.1.2.2 Hasil Analisis Laboratorium	48
5.1.2.3 Efisiensi Kinerja IPAL	50
5.1.2.4 Rasio BOD/COD	53
5.1.2.5 Rasio BOD:N:P	53
5.2 Debit Air Limbah	54
5.3 Beban Air Limbah yang Diolah	55
5.4 Mass Balance	56
5.4.1 Mass Balance Kondisi Eksisting	56
5.4.2 Mass Balance Kondisi Ideal	58
5.5 Review Desain Unit IPAL Rumah Sakit X	60
5.5.1 Review Desain Bak Equalisasi	60
5.5.2 Review Desain Bak Aerasi	69
5.5.3 Review Desain Bak Pengendap	84
5.5.4 Review Desain Bak Klorinasi	109

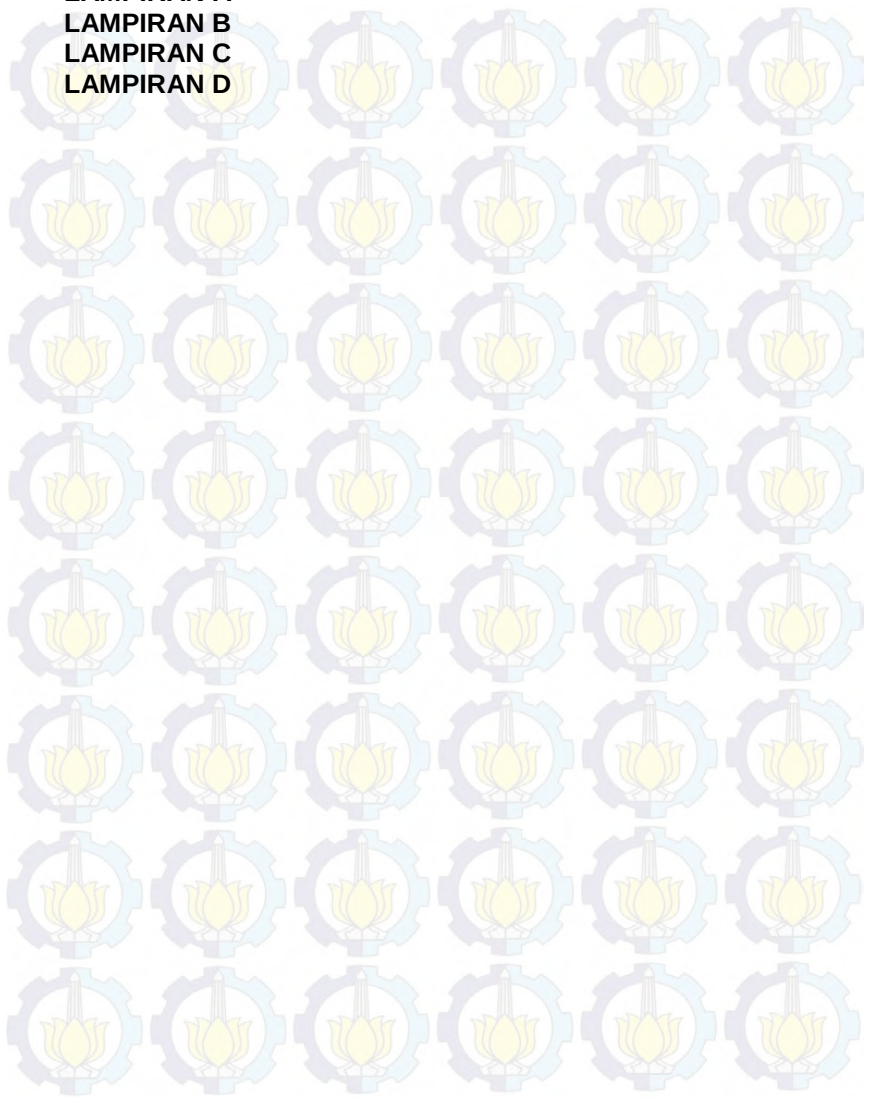
BAB VI BOQ DAN RAB

6.1 BOQ dan RAB Operasional	123
6.2 BOQ dan RAB Aksesoris	124
6.3 BOQ dan RAB Konstruksi	125
6.3.1 Bak Equalisasi	125
6.3.2 Bak Klorinasi	126
6.4 Total Rekapitulasi BOQ dan RAB Rumah Sakit X	128

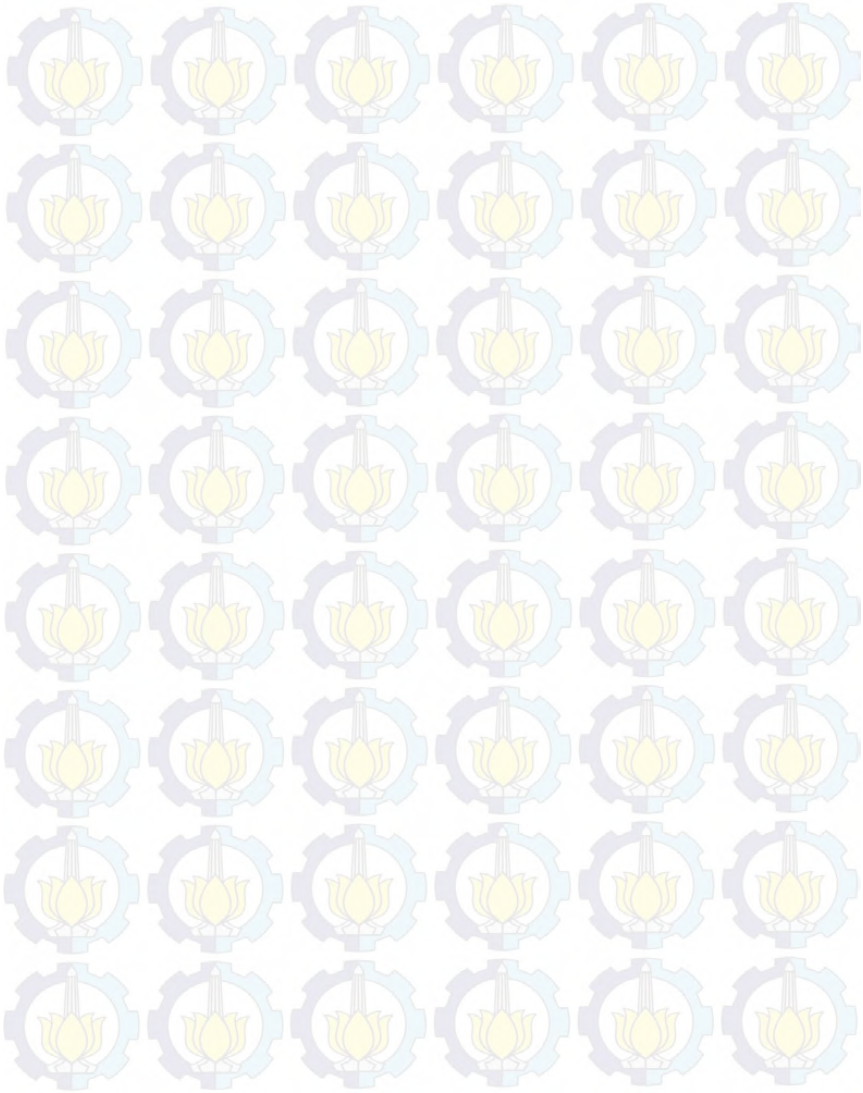
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan	129
7.2 Saran	130

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN A
LAMPIRAN B
LAMPIRAN C
LAMPIRAN D



“Halaman sengaja dikosongkan”



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram pengolahan air limbah rumah sakit.....	12
Gambar 2.2 Diagram aliran bak equalisasi	14
Gambar 3.1 Layout sumber air limbah yang diolah dengan sistem <i>activated sludge</i>	24
Gambar 3.2 Diagram alir sistem pengolahan air limbah Rumah Sakit X dengan <i>activated sludge</i>	25
Gambar 3.3 Tampak Dalam Bak Equalisasi	26
Gambar 3.4 Tampak Luar Bak Equalisasi.....	26
Gambar 3.5 <i>Activated Sludge</i> Rumah Sakit X	27
Gambar 3.6 Bak Pengendap	28
Gambar 3.7 Pipa Kesenjangan	28
Gambar 3.8 Letak Tube Settler	28
Gambar 3.9 Influen Bak Pengendap	28
Gambar 3.10 Bak Klorinasi.....	29
Gambar 3.11 Pipa Dosing	29
Gambar 3.12 Kolam Indikator.....	29
Gambar 3.13 Kolam Indikator (2)	29
Gambar 4.1 Kerangka perencanaan tahap I.....	31
Gambar 4.2 Kerangka perencanaan tahap II	34
Gambar 5.1 Hasil Analisis selama Satu Minggu	49
Gambar 5.2 Hasil Analisis selama Satu Bulan.....	49
Gambar 5.3 Grafik Hasil Pengukuran Debit	55
Gambar 5.4 Bagan Alir Mass Balance Kondisi Eksisting	57
Gambar 5.5 Bagan Alir Mass Balance Kondisi Ideal	59
Gambar 5.6 Bak Equalisasi Kondisi Eksisting Rumah Sakit X ..	60
Gambar 5.7 Grafik Volume Bak Equalisasi	64
Gambar 5.8 Saluran Efluen Bak Aerasi	73
Gambar 5.9 Denah Bak Aerasi	75
Gambar 5.10 Letak Tube Settler	87
Gambar 5.11 Bak Pengendap Kondisi Eksisting	89
Gambar 5.12 Modifikasi Desain Bak Pengendap	89
Gambar 5.13 Grafik Partikel.....	89
Gambar 5.14 Kondisi Ideal Pengendapan $S > S_o$	90
Gambar 5.15 Kondisi Pengendapan $S = S_o$	90
Gambar 5.16 Kondisi Pengendapan $S < S_o$	90
Gambar 5.17 Rencana Letak Pompa Lumpur.....	99
Gambar 5.18 Letak Pompa Lumpur Potongan B-B	100

Gambar 5.19 Pompa Lumpur	102
Gambar 5.20 Grafik Pembentukan BPC	111
Gambar 5.21 Jenis Propeller 3 Blades.....	114
Gambar 5.22 Bak Pelarut	115
Gambar 5.23 Potongan A-A	115
Gambar 5.24 Pompa Dosing	116
Gambar 5.25 Bak Pelarut	117
Gambar 5.26 Potongan A-A	117
Gambar 5.27 Bak Klorinasi Kondisi Eksisting	118

DAFTAR TABEL

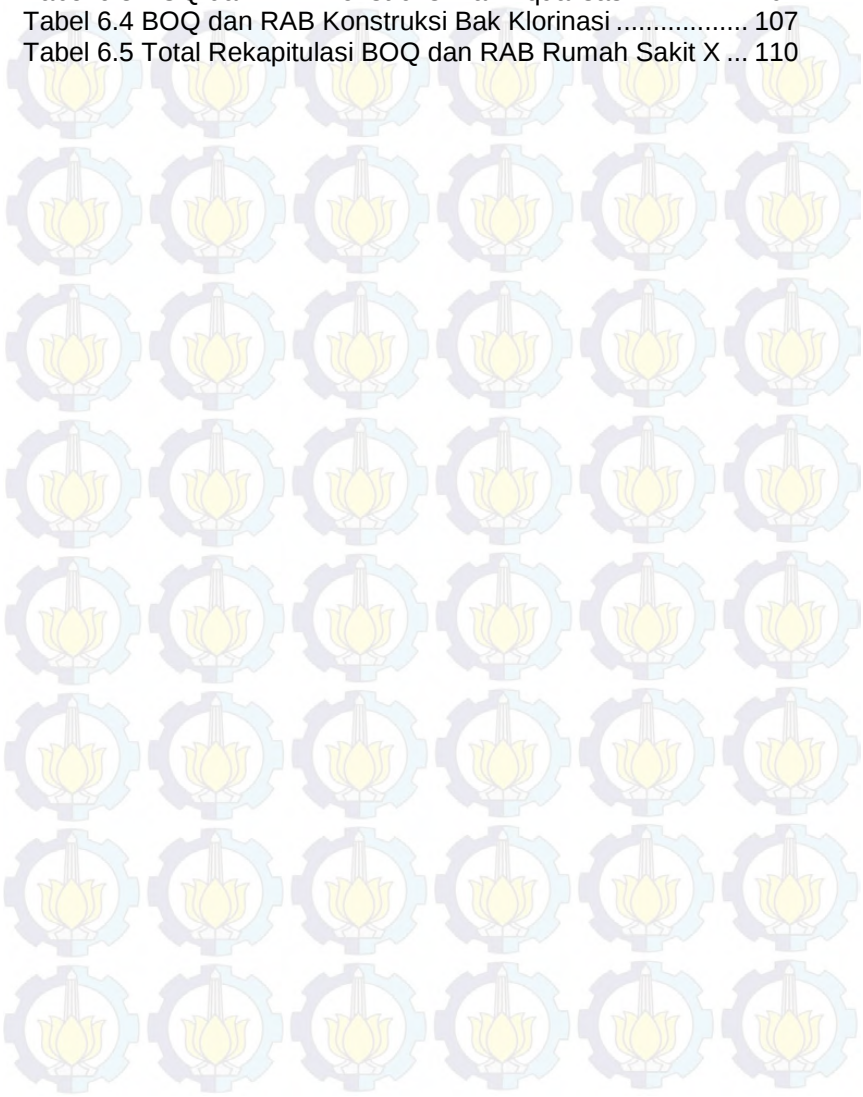
Tabel 2.1 Sumber Air Limbah Non Medis Rumah Sakit.....	8
Tabel 2.2 Klasifikasi Komponen Mikropolutan Pada Air Limbah Rumah Sakit.....	9
Tabel 2.3 Warna Limbah Cair Berkaitan Sumber Kegiatan	10
Tabel 2.4 Perbandingan BOD Dengan COD.....	11
Tabel 2.5 Kriteria Desain Bak Ekualisasi	15
Tabel 2.6 Tipikal Desain Tangki Aerasi.....	17
Tabel 2.7 Tipikal Desain Bak Pengendap II	17
Tabel 2.8 Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit	21
Tabel 4.1 Metode Pengukuran Parameter Kualitas Air Limbah ..	38
Tabel 5.1 Hasil Analisis Suhu.....	47
Tabel 5.2 Hasil Analisis pH.....	48
Tabel 5.3 Efisiensi (%) Parameter TSS.....	50
Tabel 5.4 Efisiensi (%) Parameter COD.....	51
Tabel 5.5 Efisiensi (%) Parameter BOD.....	51
Tabel 5.6 Efisiensi (%) Parameter NH_3	52
Tabel 5.7 Efisiensi (%) Parameter PO_4	52
Tabel 5.8 Rasio BOD/COD.....	53
Tabel 5.9 Rasio BOD:N:P.....	53
Tabel 5.10 Hasil Pengukuran Debit.....	54
Tabel 5.11 Perhitungan Bak Equalisasi	62
Tabel 5.12 Ringkasan Review Desain Bak Equalisasi.....	67
Tabel 5.13 Ringkasan Perhitungan Aksesoris Bak Equalisasi...	67
Tabel 5.14 Hasil Rangkuman Rekomendasi Stage Bak Aerasi ..	81
Tabel 5.15 Review Desain Bak Aerasi Kondisi Eksisting.....	82
Tabel 5.16 Perbandingan Kondisi Eksisting dengan Modifikasi Desain Bak Pengendap.....	97
Tabel 5.17 Review Desain Bak Pengendap.....	104
Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Modifikasi Bak Pengendap	106
Tabel 5.19 Kontrol Zona Pengendap Terkait Tube Settler.....	108
Tabel 5.20 Karakteristik Natrium Hypochlorid (NaOCl).....	109
Tabel 5.21 Dosis Klor untuk Desinfeksi.....	110
Tabel 5.22 Ringkasan Perhitungan Penambahan NaOCl	117
Tabel 5.23 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan ..	119
Tabel 5.24 Review Desain Bak Klorinasi	121
Tabel 6.1 BOQ dan RAB Operasional Tiap Bulan	105

Tabel 6.2 BOQ dan RAB Aksesoris..... 106

Tabel 6.3 BOQ dan RAB Konstruksi Bak Equalisasi..... 107

Tabel 6.4 BOQ dan RAB Konstruksi Bak Klorinasi 107

Tabel 6.5 Total Rekapitulasi BOQ dan RAB Rumah Sakit X ... 110



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Gambar Layout Eksisting	1
Gambar Bak Equalisasi Eksisting.....	2
Gambar Denah <i>Activated Sludge</i> Eksisting.....	3
Gambar Potongan A-A dan B-B <i>Activated Sludge</i> Eksisting	4
Gambar Bak Klorinasi dan Kontrol Eksisting	5
Gambar Potongan A-A dan B-B Klorinasi Eksisting	6
Gambar Layout Rencana	7
Gambar Potongan A-A dan B-B Bak Equalisasi Rencana.....	8
Gambar Denah AS Rencana.....	9
Gambar Potongan A-A dan B-B AS Rencana	10
Gambar Potongan Bak Klorinasi Rencana	11
Gambar Bak Pelarut dan Pembubuh Rencana	12

LAMPIRAN B HASIL ANALISIS SAMPEL

LAMPIRAN C PERHITUNGAN MASS BALANCE

LAMPIRAN D BROSUR DAN HSPK KOTA SURABAYA

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah sakit sebagai salah satu pusat pelayanan kesehatan menggunakan berbagai macam bahan kimia yang menimbulkan dampak positif bagi kesehatan karena menunjang proses pengobatan dan penyembuhan pasien. Aktivitas medis dan pengobatan pada rumah sakit menghasilkan limbah padat maupun cair dengan karakteristik yang tidak berbahaya hingga berbahaya (Khusnuryani, 2008). Salah satu jenis limbah yang dihasilkan adalah limbah cair. Limbah cair rumah sakit berasal dari penggunaan air bersih dalam jumlah cukup besar antara 400-1.200 L/hari/kamar (Gautam *et al.*, 2007). Limbah cair yang dihasilkan rumah sakit mengandung bahan kimia, senyawa organik dan kemungkinan patogen (Jolibois dan Guerbet, 2005). Bahan kimia yang digunakan seperti antibiotik, *x-ray agent*, pelarut, desinfektan dan farmasetikal yang disebut sebagai *emerging pollutant* berasal dari aktivitas laboratorium dan tindakan pengobatan (Pauwels dan Verstraete, 2006; Verlicchi *et al.*, 2010).

Rumah Sakit X merupakan salah satu rumah sakit milik Pemerintah Kota Surabaya untuk kelas pelayanan menengah (kelas B). Limbah cair yang dihasilkan Rumah Sakit X berupa limbah cair toksik dan limbah cair non toksik. Limbah cair non toksik berasal dari kegiatan dapur, medis, pelayanan, gizi dan kegiatan *laundry* sedangkan limbah cair toksik berasal dari ruang operasi, laboratorium dan radiologi. Kedua jenis limbah tersebut mengandung bahan organik dan bahan berbahaya sehingga membutuhkan sistem pengolahan air limbah. Sistem pengolahan air limbah Rumah Sakit X khusus limbah toksik yang berasal dari unit laboratorium dan radiologi dipisahkan dengan unit lain yang tidak menghasilkan limbah toksik. Pengolahan Air Limbah (IPAL) limbah non toksik dengan debit influen 78,47 m³/hari menggunakan proses *activated sludge* yang meliputi unit: bak kontrol, bak kesetimbangan, bak aerasi, bak sedimentasi, bak klorinasi dan kolam indikator. Terdapat unit IPAL yang masih memiliki kendala dalam hal pengoperasian yang disebabkan

karena terdapat permasalahan teknis sehingga mempengaruhi kinerja unit IPAL yang lain.

Menurut penelitian Suparmadja (2014), permasalahan teknis IPAL Rumah Sakit X dari pengamatan visual telah banyak terdapat kerusakan fisik bangunan serta perubahan sistem yang tidak sesuai dengan desain awal. Permasalahan IPAL Rumah Sakit X seperti pencampuran bak equalisasi kurang homogen, tidak terdapat *Return Activated Sludge* (RAS) dan pencampuran debit air limbah yang tidak merata. Permasalahan ini juga diketahui berdasarkan hasil effluen air limbah yang dihasilkan. Berdasarkan data Rumah Sakit X (2013) menyatakan hasil analisa effluen air limbah pada unit pengolahan *activated sludge* untuk parameter BOD₅ sebesar 36,5 mg/l, COD sebesar 108,9 mg/l, PO₄ sebesar 35,8 mg/l dan NH₃ bebas sebesar 0,54 mg/l. Jika dibandingkan dengan baku mutu Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Rumah Sakit untuk BOD₅ adalah 30 mg/l, COD 80 mg/l, PO₄ 2 mg/l dan NH₃ bebas 0,1 mg/l. Berdasarkan perbandingan antara hasil analisa effluen air limbah dengan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, terlihat bahwa effluen air limbah Rumah Sakit X belum memenuhi standar baku mutu Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Berdasarkan perbandingan antara hasil analisa effluen dengan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 menunjukkan bahwa terdapat permasalahan kinerja IPAL Rumah Sakit Umum Haji. Permasalahan kinerja IPAL pada Rumah Sakit X juga dapat diketahui melalui analisa pada tingkat besarnya efisiensi dan efektivitas unit IPAL.

Tingkat besarnya efisiensi dan efektivitas kinerja suatu IPAL tergantung pada ketepatan desain unit IPAL yang dibangun. Jika desain salah satu unit IPAL tidak sesuai dengan kriteria desain yang ada, maka akan menghasilkan nilai efisiensi dan efektivitas yang rendah sehingga kualitas effluen air limbah yang dihasilkan tidak sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan. Dampak yang terjadi pada desain IPAL yang tidak sesuai dengan parameter pencemar akan berpotensi mencemari badan air, ekosistem alam serta membahayakan kesehatan manusia (Suarez *et al.*, 2009). Dampak lain yang dapat terjadi adalah berkembangnya mikroba patogen dan kontaminasi bahan kimia yang mengandung

karsinogenik atau non karsinogenik dalam air limbah rumah sakit pada sumber air tanah (Emmanuel *et al.*, 2009).

Berdasarkan permasalahan yang ada, IPAL Rumah Sakit X memerlukan adanya evaluasi kinerja yang disertai dengan melakukan *review* perencanaan pada unit IPAL yang belum efisien dan efektif. Evaluasi kinerja ini dilakukan untuk menganalisis permasalahan apa saja yang menyebabkan efluen air limbah belum memenuhi persyaratan baku mutu. *Review* perencanaan dilakukan untuk mengkaji ulang dan memperbaiki kesalahan perencanaan pada unit IPAL Rumah Sakit X disertai dengan pembiayaan pada unit IPAL yang direncanakan ulang. Diharapkan melalui adanya evaluasi kinerja dan *review perencanaan* IPAL Rumah Sakit X dapat memperbaiki permasalahan yang ada sehingga dapat menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja unit pengolahan biologis Rumah Sakit X dalam meremoval bahan organik?
2. Bagaimana *review* perencanaan unit IPAL Rumah Sakit X yang belum efisien dan efektif?
3. Bagaimana rencana pembiayaan dari IPAL Rumah Sakit X yang belum efisien dan efektif ?

1.3 Tujuan Perencanaan

1. Mengevaluasi tingkat efisiensi dan efektivitas pengolahan biologis Rumah Sakit X dalam meremoval bahan organik
2. Mengevaluasi sistem IPAL Rumah Sakit X berdasarkan kriteria desain
3. Merencanakan BOQ dan RAB untuk IPAL Rumah Sakit X yang direncanakan ulang

1.4 Ruang Lingkup Perencanaan

1. Lokasi sampling dilakukan pada IPAL sistem pengolahan *activated sludge* Rumah Sakit Umum Haji Surabaya
2. Objek perencanaan adalah unit IPAL Rumah Sakit X yang meliputi: bak kontrol, bak equalisasi, bak aerasi, bak sedimentasi dan bak klorinasi

3. Data primer meliputi uji parameter fisik adalah TSS dan parameter kimia adalah pH, BOD, DO, COD, PO_4 dan NH_3 bebas
4. Data sekunder meliputi data kualitas dan kuantitas air limbah yang diperoleh dari Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya serta data kondisi *eksisting* IPAL yang diperoleh dari Rumah Sakit X

1.5 Manfaat Perencanaan

1. Membantu pihak Rumah Sakit X dalam meningkatkan kinerja IPAL dan merencanakan ulang unit bangunan IPAL Rumah Sakit X yang belum efisien dan efektif
2. Membantu inventarisasi data hasil evaluasi kinerja Rumah Sakit X kepada Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Surabaya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rumah Sakit

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 340/Menkes/Per/III/2010, rumah sakit merupakan institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat, jalan dan gawat darurat. Rumah sakit merupakan instansi kesehatan dengan kegiatan pokok seperti pelayanan preventif, kuratif dan rehabilitasi (Khusnuryani, 2008).

2.1.1 Klasifikasi Rumah Sakit

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 340/ Menkes/Per/III/2010, rumah sakit umum diklasifikasikan berdasarkan fasilitas dan kemampuan pelayanan, antara lain:

a. Rumah Sakit Umum Kelas A

Rumah sakit umum kelas A harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 4 (empat) pelayanan medik spesialis dasar, 5 pelayanan spesialis penunjang medik, 12 (dua belas) pelayanan medik spesialis lain dan 13 (tiga belas) pelayanan medik sub spesialis.

b. Rumah Sakit Umum Kelas B

Rumah sakit umum kelas B harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 4 (empat) pelayanan medik spesialis dasar, 4 (empat) pelayanan spesialis penunjang medik, 8 (delapan) pelayanan medik spesialis lain dan 2 (dua) pelayanan medik sub spesialis

c. Rumah Sakit Umum Kelas C

Rumah sakit umum kelas C harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 4 (empat) pelayanan medik spesialis dasar dan 4 (empat) pelayanan spesialis penunjang medik

d. Rumah Sakit Umum Kelas D

Rumah sakit umum kelas D harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik paling sedikit 2 (dua) pelayanan medik spesialis dasar

2.1.2 Jenis Limbah Rumah Sakit

Limbah rumah sakit dihasilkan dari berbagai aktivitas kegiatan rumah sakit. Limbah rumah sakit pada umumnya berasal dari kegiatan dapur, administrasi dan toilet. Limbah infeksius rumah sakit dihasilkan dari kegiatan diagnosa seperti percobaan, tindakan operasi, aktivitas laboratorium, kegiatan injeksi dan kemoterapi (Taghipour dan Mosaferi, 2009).

Menurut Subekti (2011) klasifikasi limbah klinis rumah sakit dikelompokkan sebagai berikut:

a. Limbah infeksius

Limbah infeksius adalah limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular (perawatan intensif), limbah laboratorium yang berasal dari mikrobiologi, ruang perawatan/isolasi penyakit menular, limbah yang berasal dari kamar bedah

b. Limbah jaringan tubuh

Limbah jaringan tubuh meliputi organ, anggota badan, darah dan cairan tubuh yang dihasilkan saat pembedahan atau otopsi

c. Limbah benda tajam

Limbah benda tajam adalah obyek atau alat yang memiliki sudut tajam, sisi, ujung atau bagian menonjol yang dapat memotong atau menusuk kulit seperti jarum hipodermik, perlengkapan intravena, pipet pasteur, pecahan gelas, pisau bedah. Benda-benda tajam yang terbuang dapat terkontaminasi oleh darah, cairan tubuh, bahan mikrobiologi, bahan beracun atau radio aktif

d. Limbah farmasi

Limbah farmasi berasal dari obat-obat kadaluwarsa, obat-obat yang terbuang karena tidak memenuhi spesifikasi atau kemasan yang terkontaminasi, obat-obat yang dibuang oleh pasien atau dibuang oleh masyarakat, obat-obat yang sangkutan dan limbah yang dihasilkan selama produksi obat-obatan

e. Limbah kimia

Limbah kimia adalah limbah yang dihasilkan dari penggunaan bahan kimia dalam tindakan medis, veterineri, laboratorium, proses sterilisasi, dan riset

f. Limbah sitotoksik

Limbah sitotoksik adalah bahan yang terkontaminasi atau mungkin terkontaminasi dengan obat sitotoksik selama peracikan, pengangkutan atau tindakan terapi sitotoksik

g. Limbah radioaktif

Limbah radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi radio isotop yang berasal dari penggunaan medis

2.2 Air Limbah Rumah Sakit

Air limbah rumah sakit adalah seluruh buangan cair yang berasal dari hasil proses seluruh kegiatan rumah sakit yang meliputi limbah non medis (limbah domestik cair) yaitu buangan kamar mandi, dapur, air bekas pencucian pakaian dan limbah cair medis (limbah cair klinis) yaitu air limbah yang berasal dari kegiatan klinis rumah sakit (Said, 2001). Kegiatan klinis rumah sakit meliputi pencucian alat medis maupun nonmedis serta kegiatan lainnya (Nurdijanto dkk., 2011).

Menurut Khusnuryani (2008) limbah rumah sakit dapat menimbulkan perubahan pada kualitas air yang dilaluinya, seperti:

1. Peningkatan zat padat berupa bahan organik mengakibatkan terjadi kenaikan limbah padatan, baik tersuspensi ataupun terlarut
2. Peningkatan kebutuhan oksigen terlarut karena aktivitas mikrobial pembusuk bahan organik, akibatnya DO (*Dissolved Oxygen*) rendah sehingga mengganggu kehidupan dalam perairan
3. Peningkatan senyawa zat-zat racun dalam air yang menghasilkan bau busuk yang menebar keluar dari ekosistem akuatik

2.2.1 Klasifikasi Air Limbah Rumah Sakit

Menurut Subekti (2011), limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit diklasifikasikan sebagai limbah non medis dan medis yang mempunyai kandungan yang berbeda, antara lain:

a. Limbah non medis

Sumber limbah non medis memiliki kandungan yang sama dengan limbah domestik. Sumber limbah non medis terdiri dari tiga golongan yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sumber air limbah non medis rumah sakit

Golongan	Contoh
Golongan eksresi manusia	Dahak, air, seni, tinja, darah
Golongan tindakan pelayanan	Sisa kumur, limbah cair pembersih alat medis
Golongan penunjang pelayanan	Limbah cair dari instalasi gizi, limbah cair dari laundry

Sumber: Ayuningtyas, 2009

b. Limbah medis

Limbah yang dihasilkan dari laboratorium, kamar operasi sebelum masuk ke bak pengolahan harus dipisahkan terlebih dahulu antara limbah rawat inap, ruang bersalin, laundry sehingga proses pengolahan limbah dapat berjalan sempurna

2.2.2 Kandungan Air Limbah Rumah Sakit

Kandungan air limbah rumah sakit terdiri dari makropolutan dan mikropolutan antara lain:

a. Makropolutan

Makropolutan pada air limbah rumah sakit merupakan konsentrasi polutan yang umumnya ditemukan pada influen dan efluen air limbah. Makropolutan air limbah rumah sakit pada umumnya terdiri dari BOD, COD dan TSS. Makropolutan lain terdiri dari TKN, total P, minyak & lemak, chlorida, total surfaktan dan *E. coli* (Verlicchi *et al.*, 2010).

b. Mikropolutan

Mikropolutan air limbah rumah sakit terdiri dari konsentrasi kimia yang digunakan untuk kegiatan

tindakan dan penelitian yang terdiri dari farmasetikal, *diagnostic agents* dan desinfektan. Mikropolutan pada air limbah rumah sakit ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi komponen mikropolutan pada air limbah rumah sakit

Klasifikasi	Contoh
Antibiotik	Penicillin, tetracycline, trimetoprim, ofloxacin, lincomycin, cefazolin
Analgesik dan antinflammatories	Codeine, salycilic acid
Anaesthetic	Propofol
Desinfektan	Triclosan, glutaraldehyde
Antidiabetik	Glibenclamide
Hormon	estriol, estrone
Stimulan	Caffeine

Sumber: Verlicchi et al., 2010

2.2.3 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit

Faktor yang mempengaruhi karakteristik air limbah rumah sakit antara lain: jumlah tempat tidur, umur rumah sakit, sumber air bersih, pelayanan umum seperti dapur dan *laundry*, peraturan yang berlaku dan manajemen lingkungan rumah sakit (Verlicchi et al., 2010).

Karakteristik air limbah terdiri dari karakteristik fisik, kimia dan biologi yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan teknik sampling, metode analisis, pengukuran berdasarkan karakteristik kimia (Metcalf dan Eddy, 2004).

1. Karakteristik fisik air limbah berdasarkan pada parameter sebagai berikut:

a. *Solids*

Zat kontaminan dalam air berpotensi membawa beban *solid*. *Solids* diklasifikasikan berdasarkan ukuran dan jenis, karakteristik kimia dan distribusi ukuran.

b. Bau

Bau dalam air disebabkan karena proses pembusukan zat organik atau bahan mineral dan produksi gas H_2S oleh bakteri melalui reduksi sulfat. Pengukuran bau dinyatakan dalam satuan MDTOC (*Minimum Detectable Threshold Odor Concentration*)

c. Suhu

Pengukuran suhu diperlukan untuk mengetahui kualitas air limbah. Parameter suhu berkaitan dengan reaksi kimia dan biokimia yang terjadi yang dinyatakan dalam satuan °C

d. Warna

Warna alami dalam air disebabkan oleh bahan organik yang terlarut sedangkan warna air limbah disebabkan oleh partikel koloid yang tersuspensi dalam air limbah

(Tchobanoglous dan Schroeder, 1985)

Warna limbah cair pada pengolahan air limbah jika berdasarkan pada kegiatannya ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Warna limbah cair berkaitan dengan sumber kegiatan

Warna limbah cair	Proses yang terjadi
Coklat muda	umur air limbah kurang dari 6 jam
Abu-abu/setengah tua	proses pembusukan, telah terdapat pada bak pengumpul beberapa lama
Abu-abu tua/hitam	mengalami pembusukan oleh bakteri dengan kondisi anaerob
Hitam	Pembentukan berbagai sulfida
Merah muda/merah tua	Bercampur dengan darah, cairan haemorogis, buangan ruang operasi

Sumber: Ayuningtyas, 2009

2. Karakteristik kimia dalam air limbah berdasarkan pada parameter sebagai berikut:

a. *Chemical oxygen demand* (COD)

Jumlah oksigen dalam air yang digunakan untuk mengoksidasi zat organik dalam 1 liter sampel air (Metcalf dan Eddy, 2004)

b. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Pengukuran bahan organik berdasarkan pada total oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba terutama bakteri untuk mengoksidasi bahan organik dalam keadaan aerobik. Pengukuran BOD dipengaruhi oleh suhu dan waktu.

Pengukuran standar dilakukan selama lima hari pada suhu 20°C (Reynolds dan Richards, 1996).

Perbandingan BOD dan COD pada air limbah bervariasi yang digunakan untuk mengetahui pengolahan air limbah yang diterapkan telah sesuai dengan karakteristik air limbah. Tabel perbandingan antara BOD dengan COD ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perbandingan BOD dengan COD

Jenis air buangan	BOD ₅ /COD
Rumah tangga	0,4-0,6
Buangan organik	0,5-0,65
Buangan anorganik	0,2

Sumber: Ayuningtyas, 2009

c. Nitrogen Organik

Jumlah nitrogen yang terdapat pada air limbah dalam bentuk ammonia (NH_3) atau ion ammonia (NH_4^+) (Reynolds dan Richards, 1996). Ammonia dalam air limbah jika bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan nitrat (NO_3) yang merupakan sumber pencemar pada perairan

d. Fosfat (PO_4^{3-})

Ion *phosphat* (PO_4^{3-}) pada air limbah berasal dari deterjen yang termasuk dalam golongan polifosfat (Reynolds dan Richards, 1996)

e. Derajat Keasaman (pH)

pH merupakan derajat keasaman limbah (ion H^+) dalam air yang membentuk suasana dalam reaksi kimiawi. Nilai pH normal yaitu ± 7 , dibawah 7 merupakan pH asam dan diatas 7 merupakan pH basa (Sawyer *et al.*, 2004)

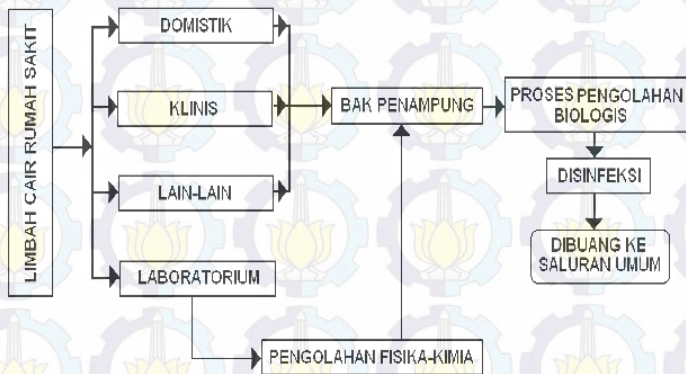
f. *Dissolved Oxygen* (DO)

Merupakan jumlah oksigen yang terdapat dalam air. Parameter ini penting terutama untuk mengetahui kondisi aerobik dalam air yang terkontaminasi polutan. Pada instalasi pengolahan limbah secara aerobik digunakan sebagai parameter memurnikan air limbah domestik atau air limbah industri (Sawyer *et al.*, 2004). DO kritis pada musim kemarau harus diperhitungkan yang tersedia minimal 6 mg O_2/l

2.3 Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit

Pengolahan air limbah rumah sakit dengan kandungan bahan organik tinggi dapat diolah dengan menggunakan pengolahan biologis sedangkan air limbah yang berasal dari laboratorium dipisahkan dan ditampung karena mengandung logam berat, kemudian diolah secara kimia-fisika (Said, 2001).

Alur pengolahan air limbah rumah sakit secara detail ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram proses pengolahan air limbah rumah sakit
(Widayat dan Said, 2005)

2.3.1 Pengolahan Fisik

Pengolahan fisik termasuk dalam pengolahan pendahuluan (*primary treatment*) yang bertujuan untuk memisahkan antara partikel tersuspensi dari air limbah (Reynolds dan Richards, 1996). Pengolahan fisik yaitu pemisahan limbah cair dari bahan padat atau sampah yang terdapat dalam limbah cair, misalnya sisa makanan, potongan kain, potongan kayu, mainan, kerikil, dan lain-lain. Proses pengolahan fisik kimia dalam limbah cair rumah sakit diperlukan untuk mengolah air limbah yang berasal dari laboratorium dengan kandungan logam berat (Said, 2001). Pengolahan fisik limbah cair rumah sakit meliputi:

a. Sumur Pengumpul

Sumur pengumpul merupakan suatu unit berbentuk bak yang bertujuan untuk menyediakan air limbah secara kontinu ke dalam unit selanjutnya. Sumur pengumpul dibutuhkan karena debit air limbah yang masuk dari saluran pembawa tidak konstan. Kriteria desain sumur pengumpul adalah $t_d \leq 10$ menit.

Sumur pengumpul pada pengolahan pendahuluan (*primary treatment*) berfungsi sebagai:

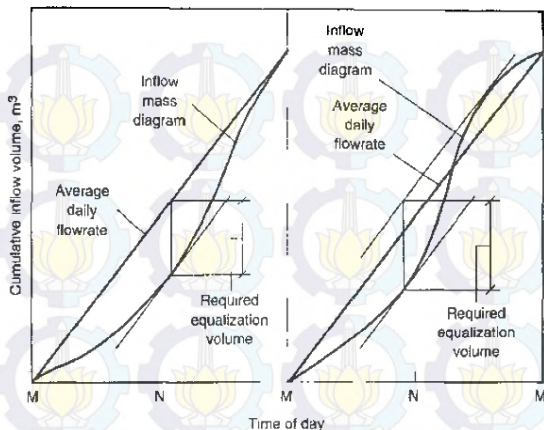
- Menampung air limbah dari saluran pembawa sebelum air limbah tersebut dialirkan ke pengolahan air limbah selanjutnya
- Menstabilkan variasi debit dan konsentrasi air limbah yang akan masuk ke unit bangunan pengolahan air limbah, sehingga tidak terjadi *shock loading* yang konstan
- *Mass loading* yang konstan dapat meningkatkan kontrol pembubuhan bahan kimia pada pengolahan kimiawi

(Qasim, 1985)

b. Bak Ekualisasi

Menurut Metcalf dan Eddy (2004) penggunaan bak ekualisasi bertujuan untuk menghasilkan aliran yang seragam sehingga unit-unit pengolahan dalam instalasi dapat terhindar dari *shock loading*, meningkatkan kinerja proses pengolahan selanjutnya, mengurangi biaya pada fasilitas pengolahan selanjutnya. Bak ekualisasi dapat menurunkan konsentrasi total COD sebesar 10-20%. Penempatan bak ekualisasi diletakkan sebelum pengolahan biologis yaitu sebelum bak pengendap I agar tidak menimbulkan akumulasi lumpur.

Volume bak ekualisasi ditentukan dengan menggunakan *inflow mass* diagram dimana debit kumulatif diplotkan dengan waktu (rentang 24 jam). Aliran rata-rata harian diplotkan pada diagram yang sama dan membentuk garis lurus dari bawah ke atas diagram. Diagram aliran yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram aliran bak ekualisasi
(Metcalf dan Eddy, 2004)

Keuntungan dari bak ekualisasi antara lain:

- Kualitas efluen cenderung stabil dan beban *solid* berkurang
- Proses pengolahan biologis akan semakin baik karena kemungkinan terjadinya *shock loading* dapat diminimalkan
- Bak ekualisasi membuat air limbah bercampur sempurna sehingga menghasilkan larutan air limbah yang homogen
- Jika terjadi perubahan beban secara mendadak dapat dihindari, dan diatur hingga menjadi konstan

Kerugian dari pemakaian bak ekualisasi antara lain:

- Membutuhkan lahan yang lebih luas dalam satu instalasi pengolahan
- Biaya meningkat dari segi operasional dan pemeliharaan
- Menjaga bau yang disebabkan dari pengolahan agar tidak sampai ke area pemukiman

(Qasim, 1985)

Kriteria desain bak ekualisasi ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kriteria desain bak ekualisasi

No	Parameter Kerja	Kriteria Desain
1	Kedalaman	1,5 m -2 m
2	Waktu detensi	4-8 jam
3	Jangkauan mixer	1/2 - 2/3 kedalaman
4	Kecepatan gradien rata-rata (G)	25 - 250 (s ⁻¹)
5	Dynamic viscosity pada suhu 30°C	0,798 x 10 ⁻³ N.s/m ²

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2004

2.3.2 Pengolahan Biologis

Pengolahan air limbah secara biologis adalah proses pelibatan mikroorganisme dalam air untuk melakukan transformasi senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam air limbah menjadi senyawa lain. Mekanisme pengolahan biologis yang berlangsung dengan cara mikroorganisme mengkonsumsi bahan-bahan organik untuk membentuk sel baru dan memanfaatkan energi yang dihasilkan dari reaksi oksidasi untuk proses metabolisme (Metcalf dan Eddy, 2004).

1. *Activated Sludge*

Parameter yang digunakan *activated sludge* antara lain *Solid retention time (SRT)*, *volumetric organic loading rate*, rasio F/M, produksi lumpur, kebutuhan dan transfer oksigen, kebutuhan nutrisi dan faktor lingkungan seperti pH (Metcalf dan Eddy, 1991)

a. Rasio F/M

Perbandingan kondisi nutrisi untuk makanan mikroorganisme. Tipikal rasio F/M dari 0,04 g/g dan 1 g/g (Metcalf dan Eddy, 2004)

b. *Solid Retention Time*

Solid retention time adalah waktu tinggal lumpur rata-rata dalam reaktor dengan satuan hari. Penentuan SRT untuk meremoval BOD tergantung pada suhu (Metcalf dan Eddy, 2004)

c. *Volumetric organic loading rate*

Adalah jumlah dari konsentrasi BOD atau COD yang terdapat dalam tangki aerasi per hari yang dinyatakan dengan kg BOD atau COD/m³.hari (Metcalf dan Eddy, 2004)

d. Produksi lumpur

Produksi lumpur digunakan untuk mengetahui prediksi lumpur yang akan dihasilkan dari proses *activated sludge* (Metcalf dan Eddy, 2004). Rumus perhitungan untuk produksi lumpur yang dinyatakan dengan satuan kg/hari

e. Kebutuhan Oksigen

Adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses biodegradasi bahan organik dalam reaktor air limbah (Metcalf dan Eddy, 2004). Rumus perhitungan untuk kebutuhan oksigen yang dinyatakan dengan satuan g/hari

f. Kebutuhan nutrisi

Kebutuhan nutrisi tergantung pada nitrogen dan fosfor (Metcalf dan Eddy, 1991). Rasio BOD:N:P pada air limbah adalah 100:5:1

g. pH

Mikroba dapat hidup pada pH antara 5-9 dengan kondisi optimum pada pH 7 (Komarawidjaja, 2007)

- Tipikal Desain

Jenis *activated sludge* yang terdapat pada Rumah Sakit X menggunakan sistem *step feed aeration*. *Step feed aeration* merupakan proses *activated sludge* yang tidak menggunakan bak pengendap awal pada umumnya digunakan untuk mengolah air limbah beban organik kecil dengan efisiensi BOD removal sekitar 85%-95% (Metcalf dan Eddy, 1991). Tipikal desain untuk tangki aerasi ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Tipikal desain tangki aerasi

Proses	Sludge retention time (θ _c)	Rasio F/M (1/hari)	Volumetric loading (kg/m ³ .hari)	MLSS (mg/l)	Waktu aerasi (jam)	Rasio resirkulasi (Q _R /Q)
Step feed aeration	5-15	0,2-0,4	0,4 - 1	2.000 - 3.500	3-10	0,25-0,75

Sumber: Metcalf dan Eddy, 1991

2. Bak Pengendap II

Bak pengendap kedua digunakan untuk memisahkan partikel lumpur dengan fluida bersih sehingga dihasilkan air bersih yang dapat dibuang menuju badan air. Kriteria desain bak pengendap II tergantung pada:

✓ *Overflow Rate*

Dinyatakan dengan satuan m³/m².hari. *Overflow rate* merupakan laju pembebanan tergantung pada karakteristik air limbah dan konsentrasi solid (Qasim, 1985)

✓ *Solid loading Rate*

Adalah massa padatan per satuan luas per satuan waktu yang biasanya digunakan untuk menetapkan padatan maksimum dalam desain bangunan klarifier (Setiyawan dan Hari, 2010).

Tipikal desain dari bak pengendap II ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Tipikal desain bak pengendap II

Tipe pengolahan	<i>Overflow Rate</i> (m ³ /m ² .hari)		<i>Solid loading Rate</i> (kg/m ² .hari)		Kedalaman (m)
	Rata-rata	Puncak	Rata-rata	Puncak	
Clarifier ASP	16-32	40-48	94-140	235	3-6,0
Clarifier aeration	8-16	24-32	24-118	164	3-6,0

Sumber: Metcalf dan Eddy, 1991

2.3.3 Unit Filtrasi Air Limbah

Menurut Selintung dan Syahrir (2012), filtrasi merupakan proses pemisahan antara fluida cair dengan menggunakan media berpori atau berupa bahan berpori yang berfungsi untuk mengendapkan zat padat tersuspensi atau koloid pada media tersebut. Penggunaan pasir silika berfungsi untuk menghilangkan kekeruhan, lumpur dan bau.

2.3.4 Desinfeksi Air Limbah Rumah Sakit

Menurut Tchobanoglous dan Schroeder (1985), desinfeksi bertujuan untuk mengurangi mikroorganisme patogen seperti virus, bakteri dan protozoa. Desinfeksi pada umumnya dilakukan dengan menambahkan klorin dalam bentuk gas Cl_2 , *chlorine dioxide* (ClO_2), *sodium hypochlorite* (NaOCl) dan *calcium hypochlorite* ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$). Pemilihan bahan kimia tersebut tergantung pada biaya dan skala pengolahan air limbah. Faktor yang mempengaruhi efektivitas dari klorin sebagai desinfektan antara lain:

- a. Metode kontak antara klorin dengan organisme
Metode kontak menggambarkan ketika klorin sebagai desinfektan bekerja dalam memusnahkan mikroorganisme patogen. Faktor ini digunakan untuk memilih metode yang efektif agar klorin dapat memusnahkan mikroorganisme patogen secara optimal
- b. Waktu kontak
Waktu kontak dibutuhkan untuk mengetahui terjadinya proses *deactivation* dari sel mikroorganisme patogen. Waktu kontak juga diperlukan untuk mengetahui konsentrasi residu klorin
- c. Konsentrasi desinfektan
Konsentrasi desinfektan diperlukan untuk mengetahui dosis efektif yang diperlukan untuk memusnahkan mikroorganisme patogen.
Kelemahan klorin sebagai desinfektan adalah sifat klorin yang mudah berikatan dengan senyawa lain, berpotensi membentuk senyawa bersifat racun seperti senyawa organoklorin yang bersifat karsinogen (Hasan, 2006).

Penentuan jumlah residu klorin penting untuk dihitung karena menentukan efektivitas dari dosis klorin yang ditambahkan dihitung dengan rumus:

$$\text{Dosis klorin} = \frac{B \times C}{1.000.000}$$

Dimana:

B : Dosis klorin yang dikehendaki (ppm)

C : Jumlah air limbah yang harus diklorinasi per hari (Liter)

Menurut Metcalf dan Eddy, 2004 bahwa dosis tambahan untuk waktu kontak selama 1 jam biasanya antara 2 – 4 mg/L.

2.3.5 Rumus yang Digunakan

Rumus yang digunakan dalam *review* perencanaan antara lain:

a. Waktu Detensi

Waktu tinggal air limbah dalam reaktor yang dinyatakan dengan satuan waktu. Menurut Metcalf dan Eddy (2004) rumus waktu detensi adalah:

$$T_d = \frac{V}{Q} \quad (2.1)$$

Dimana:

T_d = waktu detensi (hari)

Q = debit influen (m^3/hari)

V = volume reaktor (m^3)

b. Organic Loading Rate

Penentuan pembebanan pada air limbah dihitung dengan rumus menurut Metcalf dan Eddy (2004) adalah:

$$OL = \frac{Q \cdot S_o}{V} \quad (2.2)$$

Dimana:

Q = debit air limbah ke tangki aerasi (m^3/hari)

S_o = konsentrasi BOD influen (g/m^3)

V = volume tangki aerasi (m^3)

c. Rasio F/M

Rumus menentukan rasio F/M adalah:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{HRT \cdot X} \quad (2.4)$$

Dimana:

S_o = konsentrasi BOD influen (g/m^3)

HRT = waktu tinggal air limbah dalam kolam aerasi (hari)

X = konsentrasi MLVSS dalam kolam aerasi

F/M = rasio food terhadap mikroorganisme (g BOD/gVSS.hari)

d. Produksi Lumpur

Menurut Metcalf dan Eddy (2004) rumus untuk menghitung produksi lumpur adalah:

$$P_x = Y_{\text{obs}} (Q) (S_o - S) (1 \text{ kg}/10^3 \text{ g}) \quad (2.5)$$

Dimana:

P_x = Produksi lumpur (kg/hari)

Y_{obs} = koefisien yield observasi

S_o = konsentrasi BOD₅ influen (mg/L)

S_e = konsentrasi BOD₅ efluen (mg/L)

Q = debit air limbah (m^3/hari)

e. Kebutuhan Oksigen

Menurut Metcalf dan Eddy (2004) rumus untuk menghitung kebutuhan oksigen adalah:

$$\text{Kebutuhan oksigen (Ro)} = \frac{Q (S_o - S) \times 10^3 \text{ g/kg}}{f} - 1,42 P_x$$

Dimana :

Q = debit air limbah (m^3/hari)

S_o = konsentrasi BOD₅ influen (mg/L)

S_e = konsentrasi BOD₅ efluen (mg/L)

P_x = Produksi lumpur (kg/hari)

f = faktor konversi BOD₅ ke BOD_L sebesar 8,34

2.3.6 Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit

Baku mutu air limbah rumah sakit yang digunakan sebagai acuan baku mutu adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 mengatur tentang baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Baku mutu air limbah rumah sakit

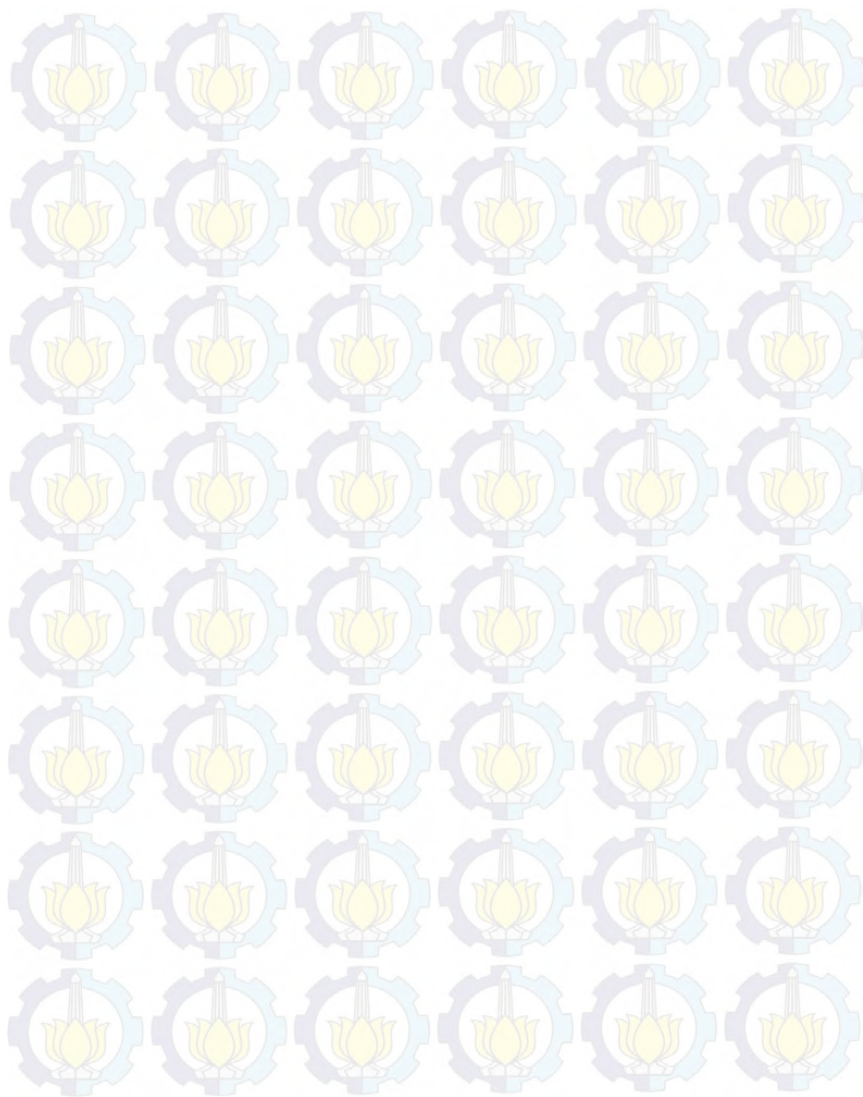
Baku Mutu Limbah Cair untuk Kegiatan Rumah Sakit Volume limbah Cair Maksimum 500 L/(orang.hari)	
Parameter	Kadar Maksimum
Suhu	30°C
pH	6-9
BOD ₅	30 mg/L
COD	80 mg/L
TSS	30 mg/L
NH ₃ -N bebas	0,1 mg/L
PO ₄	2 mg/L
MPN-kuman golongan coli/100 mL	10.000

Sumber: Peraturan Gubernur Jatim No. 72 Tahun 2013

2.3.7 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian Suparmadja (2014), kinerja IPAL Rumah Sakit X dapat bekerja optimal jika dimensi unit IPAL yang direncanakan tepat dan sesuai dengan kriteria desain, diperlukan pula pemeliharaan IPAL agar IPAL dapat beroperasi dengan optimal. Berdasarkan penelitian Agustin (2014), evaluasi kinerja IPAL ditentukan dari efisiensi dan efektivitas IPAL tersebut dalam menghasilkan efluen yang sesuai dengan baku mutu air limbah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 3

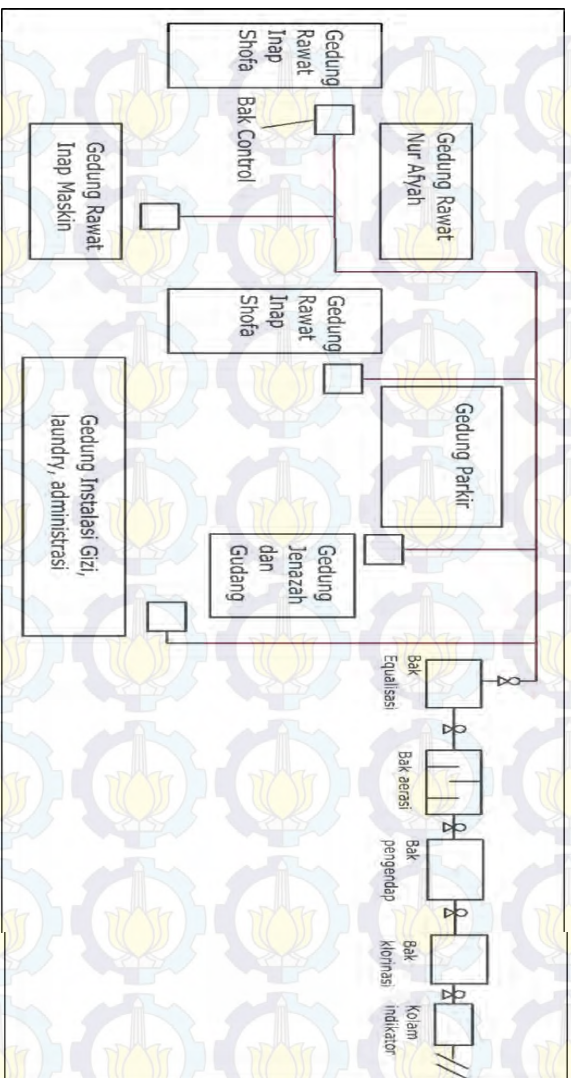
GAMBARAN UMUM IPAL RUMAH SAKIT X

3.1 Sumber Air Limbah Rumah Sakit X

Sumber air limbah di Rumah Sakit X untuk unit *activated sludge* berasal dari:

- a. Gedung Nur Afiah (PAV)
Gedung Nur Afiah terdiri dari unit rawat jalan dan unit rawat inap dibangun empat lantai
- b. Gedung Shofa
Gedung Shofa terdiri dari unit rawat inap
- c. Gedung Maskin
Gedung Maskin terdapat unit rawat inap dibangun enam lantai
- d. Instalasi gizi
Instalasi gizi terletak di bawah gedung administrasi belakang
- e. Pusat sterilisasi dan pencucian
Pada pusat sterilisasi dan pencucian ini terdapat pengolahan pendahuluan (*pretreatment*) yang dioalah dengan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*
- f. Administrasi belakang
Administrasi belakang terdiri dari ruang sanitasi dan ruang karyawan
- g. Gedung jenazah
Gedung jenazah terletak satu gedung dengan gudang umum

Gambaran layout sumber air limbah untuk sistem pengolahan dengan *activated sludge* ditunjukkan pada Gambar 3.1

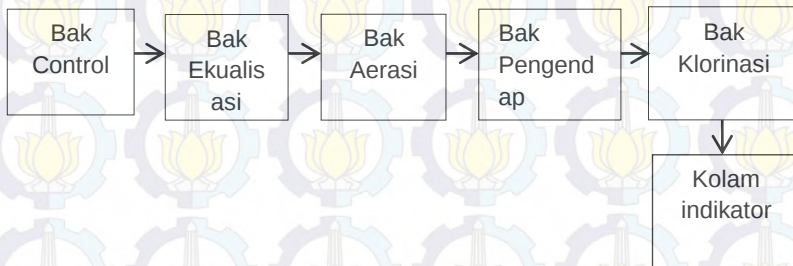


Gambar 3.1 Layout Sumber Air Limbah Yang Diolah Dengan Sistem Pengolahan Activated

Sludge

3.2 Sistem Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X

Sistem pengolahan air limbah Rumah Sakit X yang berasal dari air limbah dapur, ruang medis, laundry, unit gizi dan ruang personel diolah dengan sistem pengolahan biologis yaitu *activated sludge* dengan debit rata-rata influen selama satu bulan dari *flowmeter* sebesar $78,47 \text{ m}^3/\text{hari}$. Skema sistem pengolahan air limbah Rumah Sakit X ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit X Dengan *Activated Sludge*

1. Bak Ekualisasi

Pada bak ekualisasi berfungsi sebagai bak pencampuran untuk mengatasi fluktuasi debit air limbah agar tidak terjadi *shock loading* sebelum masuk ke unit pengolahan biologis. Spesifikasi dari bak ekualisasi antara lain:

- Volume : 2 m^3
- Dimensi
 - Panjang : 1 m
 - Lebar : 1 m
 - Tinggi : 2 m
- Menggunakan pompa *submersible* yang berfungsi untuk mengalirkan air limbah menuju bak aerasi yang dilengkapi dengan *water level detector* yang secara otomatis bekerja jika air limbah mencapai pada level tertentu.

- Gambar Kondisi Eksisting Bak Equalisasi



Gambar 3.3 Tampak Dalam Bak Equalisasi



Gambar 3.4 Tampak Luar Bak Equalisasi

2. Bak Aerasi

Bak aerasi berfungsi sebagai bak pencampuran antara air limbah dengan mikroorganisme pengurai yaitu berupa lumpur aktif yang disuplai dengan udara untuk meningkatkan proses biodegradasi air limbah agar dapat bekerja optimal. Sistem aerasi pada Rumah Sakit X menggunakan sistem *plug flow aeration* yang dilengkapi dengan dua blower untuk menyuplai oksigen dan reaktor dibagi menjadi 3 sekat berfungsi sebagai influen air limbah. Spesifikasi bak aerasi antara lain:

Volume reaktor : 101 m³

Dimensi

Sekat 1 dan sekat 2:

Panjang : 8,3 m

Lebar : 1 m

Tinggi : 3,3 m

Sekat 3

Panjang : 8,5 m

Lebar : 2 m

Tinggi : 3,3 m
Tebal dinding : 20 cm
Jumlah diffuser : 99 buah dengan slot sebesar 2 mm
Kebutuhan udara : 10 m³/menit

- Gambar Kondisi Eksisting Bak Aerasi



Gambar 3.5 Activated Sludge Rumah Sakit X

3. Bak Pengendap

Pada Rumah Sakit X, pengendapan dilakukan dengan bak pengendap berfungsi untuk memisahkan antara supernatan dengan endapan yaitu lumpur aktif untuk kemudian mengalirkan air menuju tangki filtrasi. Spesifikasi dari bak pengendap antara lain:

Jumlah : 2 unit

Komponen bak pengendap antara lain:

a. Zona Inlet

Berfungsi sebagai tempat penampungan air yang berasal dari bak aerasi. Zona inlet berupa saluran yang terletak di bagian bawah zona outlet bak pengendap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Dimensi zona inlet antara lain:

Panjang = 0,5 m

Lebar = 2,6 m

Tinggi = 2 m

b. Zona Pengendapan

Pada zona pengendapan terdapat *tube settler* yang berfungsi untuk mempercepat waktu pengendapan yang berupa pipa PVC yang disusun dengan kemiringan 30°. Dimensi zona pengendapan antara lain:

Panjang : 2,9 m
Lebar : 2,6 m
Tinggi : 3,3 m

c. Zona Outlet

Berfungsi untuk menampung efluen dari zona pengendapan menuju tangki filtrasi.

Dimensi zona outlet antara lain:

Panjang : 0,5 m
Lebar : 2,6 m
Tinggi : 1,3 m

- Gambar Kondisi Eksisting Bak Pengendap



Gambar 3.6 Bak Pengendap



Gambar 3.7 Pipa Kesetimbangan



Gambar 3.8 Letak Tube



Gambar 3.9 Influen BP

4. Bak Klorinasi

Bak klorinasi berfungsi untuk untuk menghilangkan mikroorganisme patogen seperti virus, bakteri dan protozoa sebelum air mengalir menuju ke badan air. Desinfektan yang digunakan adalah larutan kaporit dengan dosis yang dituangkan sebesar 5 ppm.

Dimensi Bak Klorinasi:

Panjang : 2,65 m

Lebar : 0,66 m

Tinggi : 0,8 m

- Gambar Kondisi Eksisting Bak Klorinasi



Gambar 3.10 Bak Klorinasi



Gambar 3.11 Pipa Dosing

5. Kolam indikator

Kolam indikator berfungsi sebagai indikator kualitas air hasil pengolahan air limbah tersebut sebelum dibuang menuju badan air.

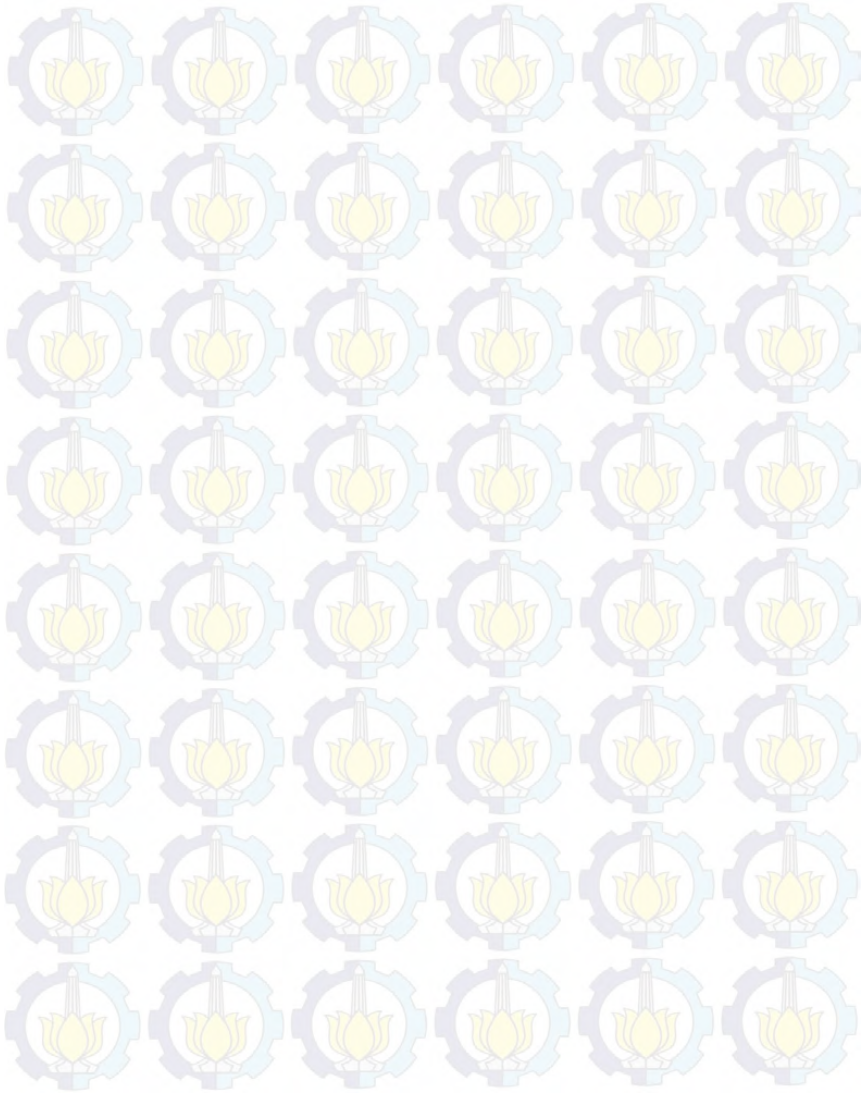


Gambar 3.11 Kolam Indikator



Gambar 3.12 Kolam Indikator (2)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

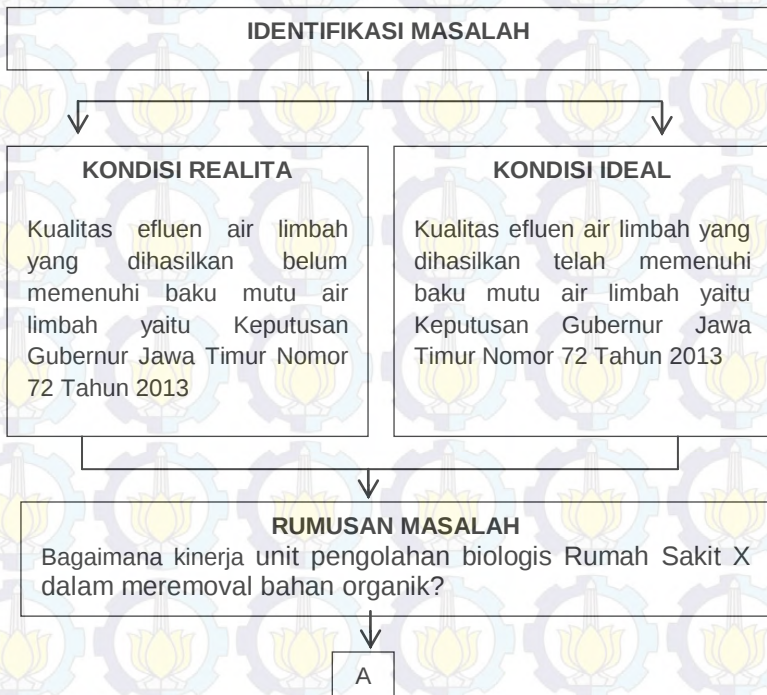


BAB 4

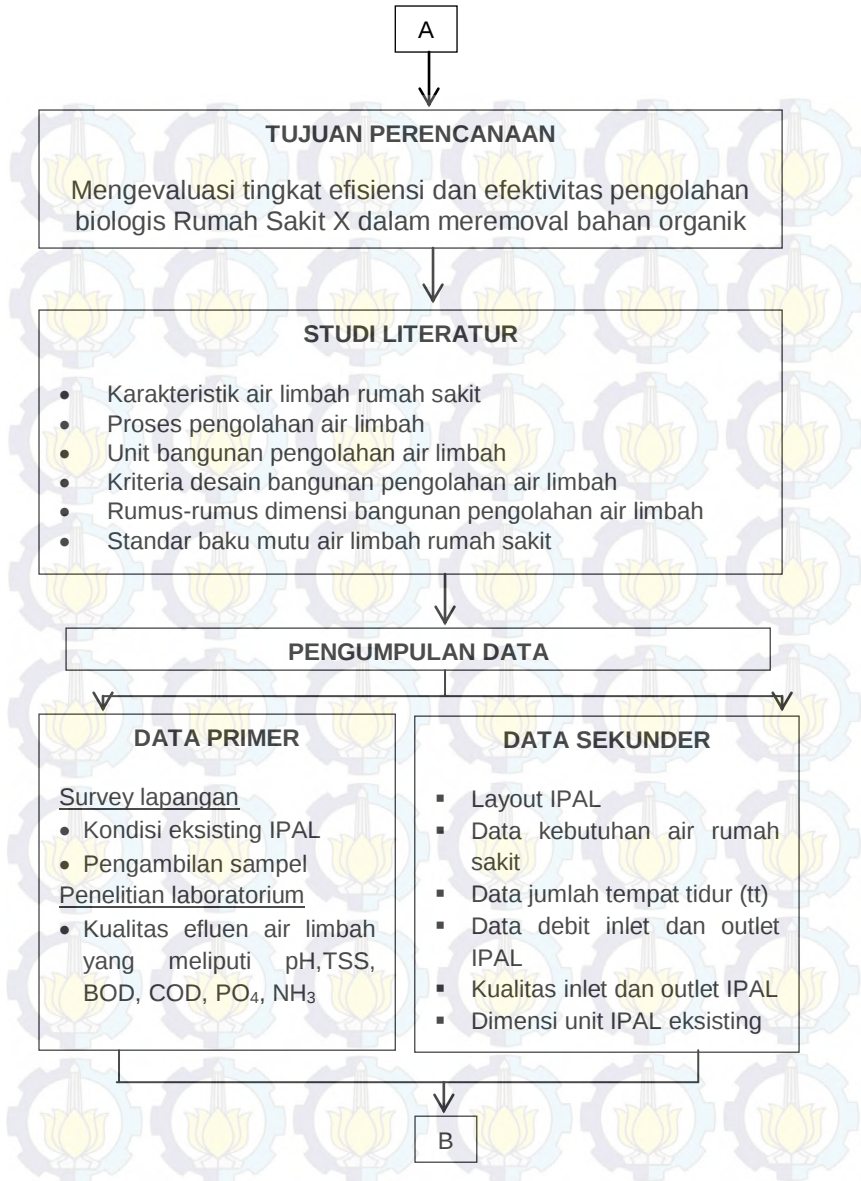
METODE PERENCANAAN

4.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan berisi dasar pemikiran dan kegiatan dalam melaksanakan tugas akhir yang disusun secara sistematis. Tujuan penyusunan kerangka perencanaan adalah memudahkan untuk mengetahui kegiatan yang akan dilakukan dalam tugas akhir dan memberikan arahan dalam melaksanakan tugas akhir. Pelaksanaan tugas akhir dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap evaluasi kinerja IPAL dan tahap *review* perencanaan IPAL sehingga terdapat dua susunan kerangka perencanaan yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Kerangka perencanaan tahap I



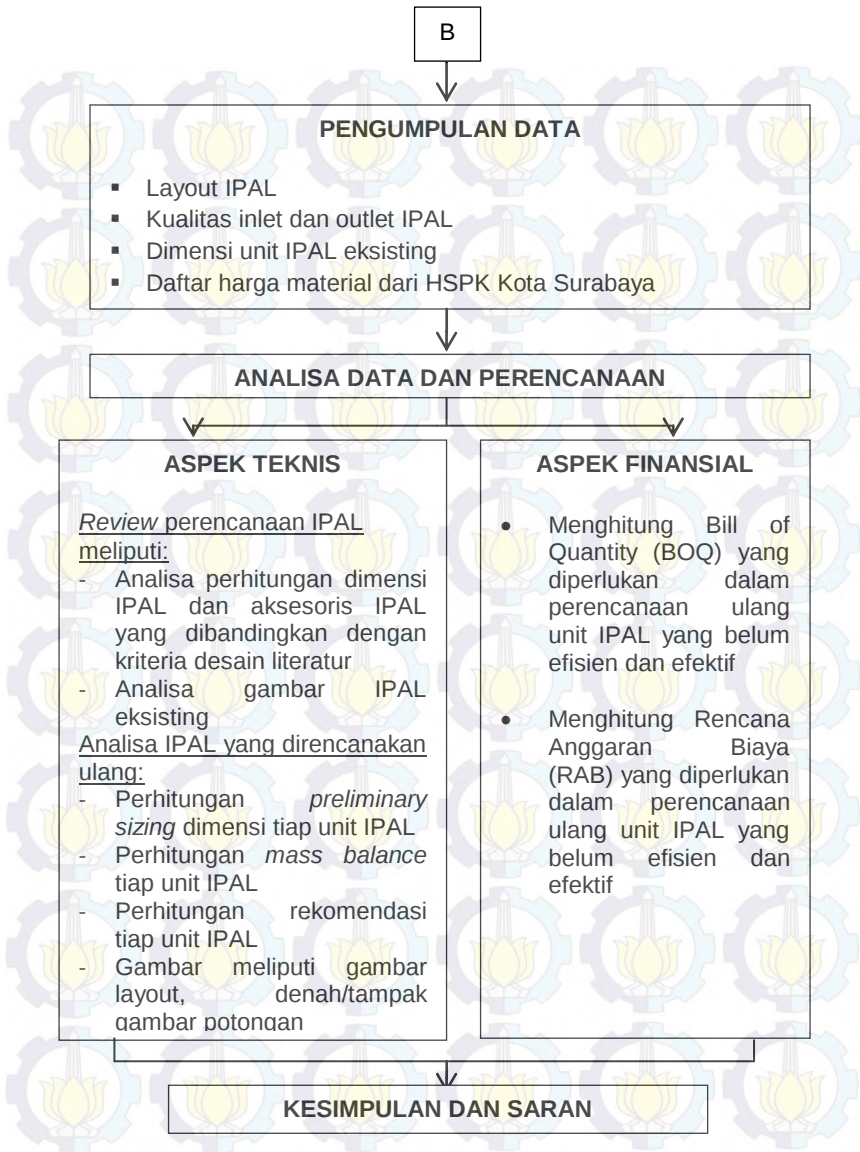
Gambar 4.1 Kerangka perencanaan tahap I (lanjutan)



Gambar 4.1 Kerangka perencanaan tahap I (lanjutan)



Gambar 4.2 Kerangka perencanaan tahap II



Gambar 4.2 Kerangka perencanaan tahap II (lanjutan)

4.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah menunjukkan perbandingan antara kondisi realita dengan kondisi ideal pada objek studi. Kondisi realita yaitu kualitas effluen air limbah IPAL Rumah Sakit X belum memenuhi baku mutu Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Kondisi ini menunjukkan bahwa selama ini unit IPAL yang ada tidak cukup efisien dan efektif untuk menghasilkan effluen dengan kualitas baik. Hal ini yang mendasari diperlukan suatu evaluasi kinerja IPAL yang dilanjutkan dengan adanya *review* perencanaan pada unit IPAL yang belum efisien dan efektif.

4.3 Studi Literatur

Tujuan studi literatur adalah mempelajari teori, kriteria desain dan rumus-rumus yang menunjang dan mendukung tugas akhir. Sumber studi literatur diperoleh dari buku, jurnal, *proceeding* atau pustaka lainnya yang dapat menunjang tugas akhir. Literatur yang digunakan berkaitan dengan pokok bahasan antara lain:

- Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit
Karakteristik air limbah diperlukan untuk mengetahui kualitas air limbah rumah sakit. Karakteristik air limbah ditunjukkan dari parameter analisa antara lain pH, TSS, BOD, COD, PO_4 dan NH_3 bebas
- Proses Pengolahan Air Limbah
Proses pengolahan air limbah diperlukan untuk mengetahui efektivitas sistem pengolahan air limbah yang digunakan dalam menghasilkan effluen yang sesuai dengan standar baku mutu air limbah
- Unit Bangunan Pengolahan Air Limbah
Literatur mengenai unit bangunan pengolahan air limbah diperlukan untuk mengetahui fungsi dari masing-masing bangunan, keuntungan dan kerugian dari bangunan pengolahan air limbah. Unit pengolahan air limbah ditentukan berdasarkan pada karakteristik air limbah yang akan diolah
- Kriteria Desain Bangunan Pengolahan Air Limbah
Kriteria desain diperlukan sebagai pedoman dan acuan yang diperlukan dalam merancang bangunan air limbah. Salah satu faktor keberhasilan dalam merancang bangunan air

limbah salah satunya ditentukan dari kesesuaian kriteria desain bangunan pengolahan air limbah tersebut

- Standar Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit
Digunakan untuk menilai kualitas efluen air limbah yang telah diolah sesuai dengan persyaratan baku mutu air limbah. Standar baku mutu air limbah yang digunakan adalah Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Limbah Usaha / Kegiatan Lainnya.

4.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan untuk mengumpulkan data yang diperlukan dan terkait dengan penyusunan tugas akhir. Sumber pengumpulan data berasal dari data primer dan data sekunder. Pengumpulan data dilakukan pada tahap evaluasi kinerja IPAL dan pada tahap *review perencanaan* yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data Tahap Evaluasi Kinerja IPAL

Pengumpulan data tahap evaluasi kinerja IPAL terdiri dari data primer dan data sekunder yaitu sebagai berikut:

A. Data Primer

Data primer diperoleh dari pengukuran dan analisa langsung di lapangan maupun laboratorium. Pengumpulan data primer yang dilakukan sebagai berikut:

• Survei Lapangan

Survei lapangan bertujuan untuk mengetahui gambaran atau keadaan sebenarnya yang terjadi di lapangan. Survei lapangan dilakukan dengan meninjau kondisi eksisting IPAL dan pengambilan sampel. Tahap pengambilan sampel yang akan dilakukan meliputi:

• Tahap Persiapan

Tahap persiapan adalah tahap untuk mempersiapkan alat yang akan digunakan untuk mengambil dan menganalisa sampel

• Tahap Pelaksanaan

Pengambilan sampel untuk mengukur kualitas air limbah dilakukan dengan *grab sampling* yaitu sampling yang dilakukan satu kali. Tahap pelaksanaan sampling terdiri dari:

- Titik pengambilan sampel adalah pada inlet dan outlet tiap unit IPAL.
- Pengambilan sampel akan dilakukan selama dua minggu dengan frekuensi pengambilan tiap tiga hari dalam satu minggu. Hari yang dipilih adalah senin, rabu dan jumat bertujuan untuk mengetahui terbentuknya trend data parameter yang dianalisa akan digunakan sebagai acuan untuk mengetahui efisiensi rata-rata bangunan pengolahan limbah tersebut selama dua minggu.
- Analisis Sampel
Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan yang dilakukan dengan menganalisa kualitas efluen air limbah yang meliputi parameter pH, BOD, COD, TSS, PO₄ dan NH₃ bebas. Metode pengukuran parameter kualitas air limbah ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Metode Pengukuran Parameter Kualitas Air Limbah

No	Parameter	Metode	Instrumen	Sumber
1	BOD	Winkler	Winkler	APHA 2005 5210 B
2	COD	Open Refluks	Buret, alat refluks	APHA 2005 5520 B
3	pH	Elektrometri	pH meter	SNI 06-6989.1 1-2004
4	PO ₄	Spektrofotometri	Spektrofotometer	APHA 2005 4500 P
5	TSS	Gravimetri	Neraca analitik	SNI 06-6989.3-2004
6	NH ₃	Spektrofotometri	Spektrofotometer	APHA 2005 4500 B

B. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari inventarisasi data Rumah Sakit X, data sekunder yang diperlukan antara lain:

- Layout IPAL
Layout IPAL diperlukan untuk memudahkan pelaksana tugas akhir dalam mengetahui dan menganalisa urutan sistem pengolahan air limbah yang diterapkan pada IPAL
- Data Kebutuhan Air
Data kebutuhan air diperlukan untuk menghitung debit air limbah yang masuk ke dalam IPAL yang berasal dari perhitungan debit air bersih. Jika tidak terdapat data kebutuhan air rumah sakit, kebutuhan air bersih rumah sakit dapat ditentukan yaitu pada umumnya 350-500 L/tt/hari. untuk kebutuhan pasien rawat jalan adalah 8 L, staff/pegawai adalah 120 L dan keluarga pasien adalah 160 L (Morimura dan Soufyan, 2000)
- Data Jumlah Tempat Tidur (TT)
Data jumlah tempat tidur diperlukan untuk menghitung nilai % *Bed Occupancy Ratio (BOR)* dan kapasitas bangunan pengolahan air limbah (Q air limbah) yang dihasilkan rumah sakit
- Data Rekam Medis
Data rekam medis diperlukan untuk mengetahui jumlah pasien yang dirawat selama periode waktu tertentu untuk menentukan nilai %BOR rumah sakit tersebut
- Data Debit Inlet dan Outlet IPAL
Data debit inlet dan outlet digunakan sebagai data perbandingan untuk mengetahui besarnya debit air limbah yang dihasilkan pada efluen IPAL
- Kualitas Inlet dan Outlet IPAL
Kualitas inlet dan outlet IPAL diperlukan untuk mengetahui apakah sistem pengolahan yang digunakan telah efektif dalam menghasilkan efluen air limbah yang sesuai dengan standar baku mutu air limbah sebelum dibuang menuju badan air
- Dimensi Unit IPAL
Data dimensi unit IPAL digunakan untuk melakukan evaluasi apakah kapasitas bangunan pengolahan air limbah dengan dimensi unit IPAL pada kondisi saat ini memungkinkan untuk

menampung air limbah yang dihasilkan dari berbagai kegiatan di rumah sakit. Jika berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, dimensi unit IPAL tidak memungkinkan untuk menampung debit air limbah yang masuk maka diperlukan adanya *review* perencanaan pada unit IPAL tersebut.

2. Pengumpulan Data Tahap *Review Perencanaan*

Pengumpulan data tahap *review* perencanaan merupakan data yang dapat menunjang pembangunan unit IPAL, data yang diperlukan berkaitan dengan data sekunder yang terdapat pada tahap evaluasi kinerja antara lain layout IPAL, data debit inlet dan outlet IPAL, data kualitas inlet dan outlet IPAL, data dimensi unit IPAL eksisting, namun pada tahap *review perencanaan* diperlukan daftar harga material yang diperoleh dari HSPK Kota Surabaya yang digunakan sebagai pedoman dan acuan dalam menyusun aspek finansial yang terdiri dari BOQ dan RAB.

4.5 Analisa Data dan Pembahasan

Analisa data dilakukan setelah pengumpulan data telah dilakukan secara keseluruhan. Analisa data bertujuan untuk memproses data yang telah dikumpulkan dan ditunjang dengan teori-teori yang mendukung agar diperoleh tujuan perencanaan yang diharapkan. Hasil dari analisa tersebut dikaitkan secara objektif dan realistis yaitu dengan melakukan *review* perencanaan pada unit IPAL dengan kinerja yang belum efisien dan efektif. Analisa data dilakukan pada dua tahap, antara lain:

1. Analisa Data dan Pembahasan Tahap Evaluasi Kinerja IPAL

Evaluasi kinerja IPAL bertujuan untuk mengetahui besarnya efisiensi dan efektivitas bangunan unit IPAL. Analisa tingkat efisiensi dan efektivitas dijabarkan sebagai berikut:

▪ Efisiensi IPAL

Efisiensi IPAL ditentukan berdasarkan pada kemampuan tiap unit IPAL dalam meremoval kandungan bahan organik yang terdapat dalam air limbah. Efisiensi dinyatakan dalam persen (%). Efisiensi IPAL dianalisa melalui:

✓ Perhitungan Kapasitas IPAL

Perhitungan kapasitas IPAL digunakan untuk mengetahui debit air limbah keseluruhan yang dihasilkan oleh rumah sakit yang dibandingkan dengan

kapasitas unit pengolahan dalam mengolah air limbah. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ketepatan IPAL dalam mengolah debit air limbah yang dihasilkan kegiatan rumah sakit. Rumus perhitungan adalah:

Dari data jumlah tempat tidur dan data rekam medis ditentukan nilai % *Bed Occupancy Ratio (BOR)* yaitu prosentase pemakaian tempat tidur pada satuan waktu tertentu dengan rentang 60-85% (Depkes RI, 2005). Perhitungan *Bed Occupancy Ratio (BOR)* adalah:

$$\% \text{ BOR} = \frac{\sum \text{hari perawatan di rumah sakit}}{\sum \text{tempat tidur} \times \sum \text{hari dalam satu periode}} \times 100\%$$

Q air bersih = Jumlah tt x kebutuhan air (lt/tt/hari) x % *Bed Occupancy Ratio (BOR)*

Q air limbah = 70% x Q air bersih

✓ Perhitungan Efisiensi IPAL

Perhitungan efisiensi IPAL dianalisa berdasarkan besarnya prosentase removal bahan organik tiap unit IPAL. Data perhitungan efisiensi IPAL diperoleh dari hasil analisa laboratorium. Rumus perhitungan efisiensi IPAL adalah:

$$\% \text{ efisiensi} = \frac{\text{Konsentrasi inlet } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) - \text{konsentrasi outlet } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{\text{Konsentrasi inlet } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \times 100\%$$

✓ Analisa Mass Balance Unit IPAL

Analisa *mass balance* bertujuan untuk menunjukkan perubahan dari proses removal yang terjadi dalam tangki. Analisa *mass balance* dilakukan dengan menganalisa beban air limbah pada influen dan efluen tiap unit IPAL. Perhitungan mass balance:

$$\begin{aligned} \text{Mass balance} &= \text{Massa in} - \text{massa penurunan reaksi} - \text{massa out} \\ &= X (Q + Q_r) - Q_r \cdot X_r - Q_w \cdot X_r - Q_e \cdot X_e \end{aligned}$$

Dimana :

Q : Debit influen (m³/hari)

Q_e : Debit efluen (m³/hari)

Q_r : Debit resirkulasi (m³/hari)

Q_w : Debit lumpur (m³/hari)

X_r : Konsentrasi BOD yang diresirkulasi (kg/m³)

X_e : Konsentrasi BOD efluen (kg/m³)

- Efektivitas kinerja IPAL

Efektivitas kinerja IPAL ditentukan berdasarkan pada kemampuan sistem pengolahan air limbah dalam menghasilkan efluen sesuai dengan standar baku mutu air limbah.

2. Analisa Data dan Perencanaan Tahap *Review Perencanaan*
 Analisa data dan perencanaan yang dilakukan mencakup pada dua aspek, antara lain:

a. Aspek Teknis

Aspek teknis adalah aspek yang mencakup objek studi yang dianalisa dan direncanakan. Aspek teknis dalam tugas akhir ini meliputi:

✓ Analisa detail desain unit IPAL eksisting dilakukan dengan menganalisa perhitungan unit IPAL eksisting yang dibandingkan dengan perhitungan yang terdiri dari:

- Analisa Dimensi Unit IPAL Eksisting

Analisa dimensi unit IPAL eksisting dilakukan dengan menganalisa ketepatan volume efektif yang terdiri dari panjang, lebar dan kedalaman dari unit IPAL eksisting yang disesuaikan dengan total debit air limbah yang dihasilkan RSU Haji dan mengacu pada kriteria desain literatur

- Analisa Ukuran dan Jenis Aksesoris Unit IPAL Eksisting

Analisa ini dilakukan dengan menganalisa ketepatan dan kebutuhan pipa, blower, pompa dan ukuran aksesoris lainnya yang menunjang proses pengolahan air limbah berdasarkan pada kriteria desain unit IPAL. Salah satu perhitungan yang dilakukan adalah menghitung efisiensi pompa.

➤ Perhitungan efisiensi pompa

$$\eta = \frac{H_p \times Q \times \gamma}{D_p}$$

Dimana :

D_p : daya pompa

H_p : Head pompa

γ : Berat jenis air

η : Efisiensi pompa (%)

- ✓ Analisa gambar unit IPAL eksisting dilakukan dengan mengevaluasi ketepatan dari gambar desain bangunan unit IPAL dan letak aksesoris yang digunakan berdasarkan pada gambar denah, potongan dan detail dari tiap unit IPAL.

Pada hasil *review* perencanaan pada IPAL yang akan direncanakan ulang meliputi:

- ✓ Hasil Analisa Dimensi Unit IPAL Eksisting
 - ❖ Jika hasil analisa dimensi unit IPAL eksisting ditemukan bahwa dimensi dan volume efektif tidak sesuai dengan kriteria desain maka tahap yang akan dilakukan meliputi:
 - Perhitungan *Preliminary Sizing* Dimensi Unit IPAL
Perhitungan *preliminary sizing* dilakukan dengan menentukan dimensi unit IPAL yang direncanakan ulang terdiri dari panjang, lebar dan tinggi bangunan IPAL yang berkaitan dengan luas lahan yang dibutuhkan
 - Perhitungan *Mass Balance* Unit IPAL
Perhitungan *mass balance* disesuaikan dengan efisiensi unit IPAL yang sesuai dengan kriteria desain literatur. Perhitungan *Mass Balance* ini digunakan untuk mengetahui jumlah massa lumpur aktif yang harus diresirkulasi dan massa lumpur aktif yang harus dibuang karena pada bak pengendap RSU Haji tidak terdapat resirkulasi lumpur
 - Perhitungan Desain Unit IPAL
Perhitungan detail desain diperlukan untuk mengetahui dimensi bangunan dan aksesoris yang dibutuhkan dalam merancang unit IPAL. Detail desain mengacu pada kriteria desain yang terdapat pada literatur yang ada sehingga perencanaan unit pengolahan air limbah dapat diterapkan di lapangan dan efektif dalam menghasilkan efluen air limbah yang sesuai dengan persyaratan baku mutu air limbah

- ❖ Jika hasil analisa dimensi unit IPAL eksisting telah memenuhi kriteria desain, maka tahap yang akan dilakukan adalah melakukan analisa ukuran dan jenis aksesoris dengan hasil yang akan dilakukan adalah modifikasi

✓ Hasil Analisa Ukuran dan Jenis Aksesoris Unit IPAL Eksisting

Hasil analisa ukuran dan jenis aksesoris unit IPAL eksisting dilakukan dengan memodifikasi dilakukan dengan menambah dan mengganti ukuran serta jenis aksesoris yang dibutuhkan untuk menunjang proses pengolahan air limbah RSU Haji

- Gambar Hasil Rekomendasi

Hasil perhitungan dari review desain unit IPAL digambarkan pada gambar denah/tampak, gambar gambar potongan baik memanjang maupun melintang.

3. Aspek Finansial

Aspek finansial adalah aspek yang berhubungan dengan inventasi dan pembiayaan untuk pembangunan IPAL. Aspek finansial terdiri dari Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

- Bill of Quantity (BOQ)

Bill of Quantity (BOQ) diperlukan untuk mengetahui jumlah bahan atau material yang diperlukan dalam pembangunan unit IPAL yang direncanakan ulang

- Rencana Anggaran Biaya (RAB)

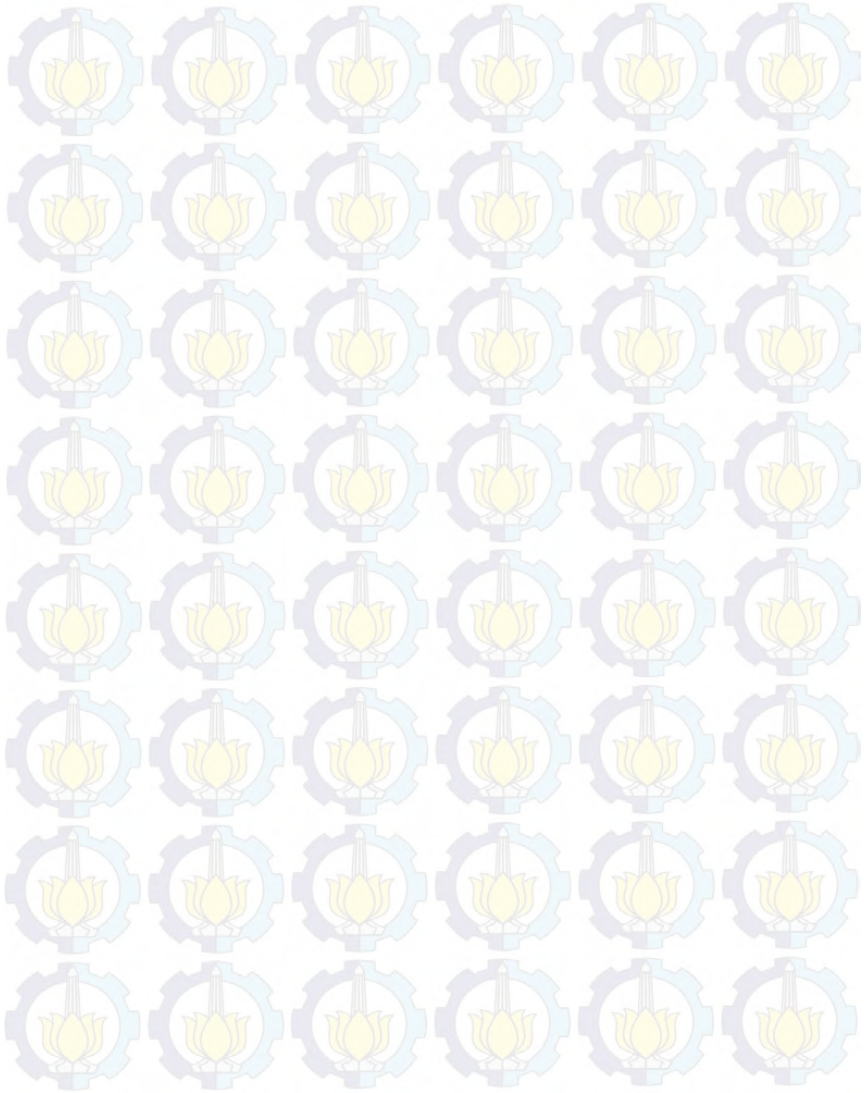
Rencana Anggaran Biaya (RAB) diperlukan untuk mengetahui jumlah biaya inventasi yang dibutuhkan oleh Rumah Sakit dalam membangun unit IPAL yang direncanakan ulang.

Analisa Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) diperoleh dari hasil perhitungan detail desain yang dapat diketahui jumlah atau bahan material yang dibutuhkan berdasarkan pada ukuran atau dimensi unit IPAL dan aksesoris seperti pipa dan pompa yang juga dibutuhkan untuk menunjang sistem pengolahan air limbah.

4.6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan hasil akhir dari evaluasi dan analisa data yang telah dilakukan terhadap unit IPAL Rumah Sakit X. Kesimpulan diuraikan berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Hasil dari kesimpulan akan menjadi saran bagi Rumah Sakit X. Saran yang diberikan dapat dijadikan pertimbangan dan masukan kepada pengelola IPAL Rumah Sakit X untuk membenahi IPAL agar dapat menghasilkan efluen air limbah yang sesuai dengan persyaratan baku mutu air limbah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit X

Karakteristik air limbah pada Rumah Sakit X ditentukan berdasarkan pada parameter fisik dan kimiawi. Proses analisis dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS selama satu bulan. Parameter fisik yang dianalisis adalah suhu tiap bangunan IPAL sedangkan parameter kimiawi yang dianalisis meliputi pH dan 5 parameter yaitu COD, BOD, TSS, NH_3 , PO_4 .

5.1.1 Karakteristik Fisik Air Limbah Rumah Sakit X

Uji secara fisik dilakukan berdasarkan pada suhu yang diukur sekali dalam satu minggu selama satu bulan. Hasil yang diperoleh untuk analisis karakteristik fisik air limbah Rumah Sakit X ditunjukkan pada Tabel 5.1 dan 5.2

Tabel 5.1 Hasil Analisis Suhu

Tanggal	Suhu (°C)				
	influen equalisasi	influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi
19 maret 2015	28	28	28	28	28
2 april 2015	27	25	25	25	25
9 april 2015	27	25	25	25	25
15 april 2015	28	26	26	26	26
Rata-rata	28	26	26	26	26

Keterangan:

Suhu air limbah menurut Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 maksimal pada suhu 30°C. Sehingga suhu air limbah pada tiap unit IPAL berada pada rentang yang sesuai dengan Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.

5.1.2 Karakteristik Kimiawi Air Limbah Rumah Sakit X

5.1.2.1 Hasil Uji pH

Hasil uji pH ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Analisis pH

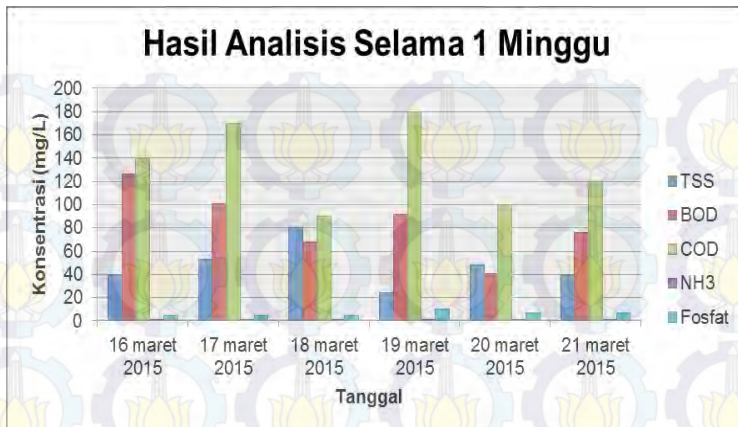
Tanggal	pH			
	influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi
19 maret 2015	7,4	7,3	7,4	7,4
2 april 2015	7,9	7,8	7,7	7,8
9 april 2015	7,1	7,5	7,6	7,6
15 april 2015	7,3	7,3	7,3	7,3
Rata-rata	7,5	7,5	7,5	7,5

Keterangan:

Berdasarkan pada tabel 5.1 diperoleh data bahwa pH rata-rata dari hasil pengukuran selama satu bulan pada masing-masing unit IPAL menunjukkan pada kisaran pH 7,5 jika dibandingkan dengan Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 yaitu pH antara 6 hingga 9, maka memenuhi.

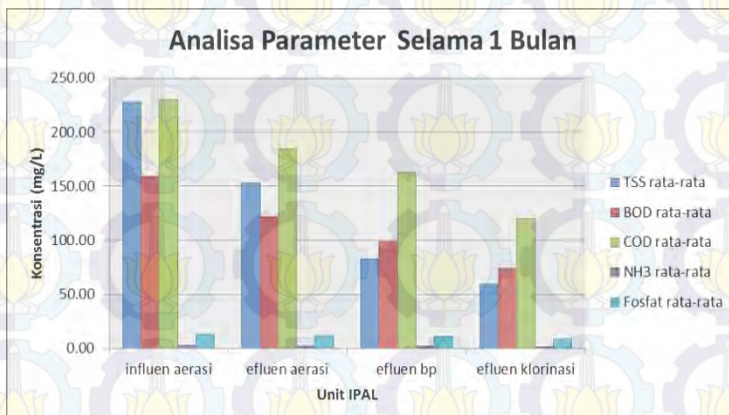
5.1.2.2 Hasil Analisis Laboratorium

Tahap analisis laboratorium dilakukan dengan melakukan analisa secara berturut-turut selama satu minggu yang bertujuan untuk mengetahui hari yang memiliki konsentrasi air limbah tertinggi. Setelah mengetahui hari peak untuk konsentrasi air limbah maka analisis diulang selama tiga kali pada hari yang sama dengan frekuensi tiap satu minggu sekali dalam periode selama satu bulan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi (%) dari tiap bangunan IPAL tersebut selama satu bulan sehingga dapat diketahui bagaimana kinerja IPAL pada Rumah Sakit X. Hasil analisis selama satu minggu ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Hasil Analisis selama 1 Minggu

Berdasarkan hasil analisis selama satu minggu diketahui bahwa pada hari Kamis, 19 maret 2015 merupakan hari dimana terdapat konsentrasi tertinggi yaitu untuk parameter COD sebesar 180 mg/L sehingga analisis selanjutnya dilakukan pada hari Kamis dalam periode selama satu bulan. Hasil analisis selama satu bulan ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Hasil Analisis selama 1 Bulan

Berdasarkan hasil analisis selama satu bulan, terlihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi (mg/L) dari influen aerasi hingga efluen klorinasi dengan konsentrasi tertinggi berasal dari parameter COD. Penurunan yang terjadi pada tiap unit ini dijadikan dasar hitungan efisiensi kinerja IPAL yang menunjukkan apakah kinerja IPAL Rumah Sakit X telah berjalan secara optimal.

5.1.2.3 Efisiensi Kinerja IPAL

Dari data hasil analisis selama satu bulan, dapat dihitung prosentase efisiensi (%) dari unit pengolahan biologis yaitu lumpur aktif yang terdiri dari bak aerasi dan bak pengendap dalam menurunkan bahan organik. Hasil perhitungan efisiensi ditunjukkan pada Tabel 5.3 – 5.7.

Tabel 5.3 Efisiensi (%) Parameter TSS

Tanggal	influen aerasi (mg/L)	efluen pengendap (mg/L)	Efisiensi (%)	Standar efisiensi
19 maret 2015	333	48	86	50-65%
2 april 2015	220	164	25	50-65%
9 april 2015	300	64	79	50-65%
16 april 2015	58	56	3	50-65%
Rata-rata	227,83	83	64	50-65%

Keterangan:

Berdasarkan tabel efisiensi (%) parameter TSS, diperoleh efisiensi rata-rata selama 1 bulan pada bak pengendap sebesar 64%. Jika dibandingkan dengan standar efisiensi, maka termasuk memenuhi rentang efisiensi. Namun, efisiensi rata-rata ini tidak dapat dijadikan acuan dikarenakan pada tanggal 2 april dan 16 april efisiensi TSS masih dibawah standar efisiensi.

Tabel 5.4 Efisiensi (%) Parameter COD

Tanggal	Influen aerasi (mg/l)	efluen pengendap (mg/L)	Efisiensi (%)	Standar efisiensi
19 maret 2015	200	140	30	85-90%
2-Apr-15	160	90	44	85-90%
9-Apr-15	280	200	29	85-90%
16-Apr-15	280	220	21	85-90%
Rata-rata	230	162,5	29	85-90%

Keterangan:

Berdasarkan tabel efisiensi (%) parameter COD, diperoleh efisiensi rata-rata selama 1 bulan untuk bak aerasi sebesar 21% dan unit bak pengendap sebesar 29% sehingga jika dibandingkan dengan standar efisiensi Metcalf dan Eddy (2004) yaitu sebesar 85-90% maka kinerja unit IPAL tidak berjalan secara optimal.

Tabel 5.5 Efisiensi (%) Parameter BOD

Tanggal	Influen aerasi (mg/L)	Efluen pengendap (mg/L)	Efisiensi (%)	Standar efisiensi
19 maret 2015	197,31	136	31	85-90%
2-Apr-15	80,78	69,68	14	85-90%
9-Apr-15	109,47	100,60	8,1	85-90%
16-Apr-15	237,97	115,19	51,6	85-90%
Rata-rata	156,38	105,37	26,13	85-90%

Keterangan:

Berdasarkan tabel efisiensi (%) parameter BOD, diperoleh efisiensi rata-rata selama 1 bulan pada activated sludge sebesar 26,13% sehingga jika dibandingkan dengan standar efisiensi Metcalf dan Eddy (2004) yaitu sebesar 85-90% maka kinerja unit IPAL tidak berjalan secara optimal dalam menurunkan bahan organik.

Tabel 5.6 Efisiensi (%) Parameter NH_3

Tanggal	Influen aerasi (mg/L)	efluen pengendap (mg/L)	Efisiensi (%)	Standar efisiensi
19 maret 2015	0,94	0,45	52	85-90%
2-Apr-15	0,80	0,68	15	85-90%
9-Apr-15	6,89	5,52	10	85-90%
16-Apr-15	2,20	1,41	36	85-90%
Rata-rata	2,71	2,01	26	85-90%

Keterangan:

Berdasarkan tabel efisiensi (%) parameter NH_3 , diperoleh efisiensi rata-rata selama 1 bulan pada activated sludge sebesar 26% sehingga jika dibandingkan dengan standar efisiensi Metcalf dan Eddy (2004) yaitu sebesar 85-90% maka kinerja unit IPAL tidak berjalan secara optimal.

Tabel 5.7 Efisiensi (%) Parameter PO_4

Tanggal	Influen aerasi (mg/L)	efluen pengendap (mg/L)	Efisiensi (%)	Standar efisiensi
19 maret 2015	10,36	7,39	29	85-90%
2-Apr-15	14,43	13,07	7	85-90%
9-Apr-15	12,67	10,31	6	85-90%
15-Apr-15	14,13	12,02	9	85-90%
Rata-rata	12,90	10,7	13	85-90%

Keterangan:

Berdasarkan tabel efisiensi (%) parameter PO_4 , diperoleh efisiensi rata-rata selama 1 bulan pada activated sludge sebesar 13% sehingga jika dibandingkan dengan standar efisiensi Metcalf dan Eddy (2004) yaitu sebesar 85-90% maka kinerja unit IPAL tidak berjalan secara optimal.

5.1.2.4 Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD digunakan untuk mengetahui jenis pengolahan air limbah yang diterapkan pada Rumah Sakit X telah sesuai dengan karakteristik air limbah yang diolah. Hasil perhitungan rasio BOD/COD ditunjukkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Rasio BOD/COD

Tanggal	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen pengendap	Efluen klorinasi	Rasio Ideal
19 maret 2015	0,99	0,77	0,97	0,90	0,5-1
2-Apr-15	0,50	0,71	0,77	0,86	
9-Apr-15	0,39	0,47	0,50	0,47	
16-Apr-15	0,85	0,69	0,52	0,79	
Rata-rata	0,68	0,66	0,69	0,76	

Keterangan:

Berdasarkan hasil perhitungan rasio BOD/COD, karakteristik air limbah yang diolah merupakan limbah biodegradable yang artinya dapat diuraikan dan diolah dengan menggunakan pengolahan biologis sehingga pengolahan air limbah dengan lumpur aktif telah sesuai dengan karakteristik air limbah yang akan diolah.

5.1.2.5 Rasio BOD:N:P

Rasio BOD:N:P menunjukkan rasio nutrisi yang terdapat dalam pengolahan air limbah. Nutrisi ini diperlukan oleh bakteri pengurai sebagai sumber makanan. Jika salah satu nutrisi tidak tercukupi, maka akan mempengaruhi proses penguraian bahan organik yang menyebabkan penguraian tidak berjalan dengan optimal. Hasil perhitungan rasio BOD:N:P ditunjukkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Rasio BOD:N:P

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)			Rasio		
	BOD	N	P	BOD	N	P
19 maret 2015	197,31	0,94	10,36	19,05	0,091	1
2-Apr-15	80,78	0,80	14,43	5,60	0,055	1
9-Apr-15	109,47	6,89	12,67	8,64	0,544	1

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)			Rasio		
	BOD	N	P	BOD	N	P
16-Apr-15	237,97	2,20	14,13	16,84	0,155	1
Rata-rata	156,38	2,71	12,90	12,13	0,210	1

Keterangan:

Berdasarkan hasil perbandingan rasio BOD:N:P, terlihat bahwa nutrisi yang terdiri dari N dan P telah mencukupi, namun konsentrasi BOD yang ada masih belum mencukupi.

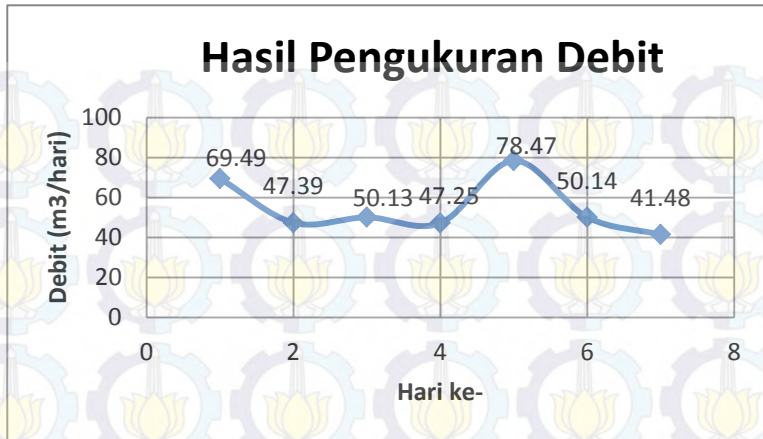
5.2 Debit Air Limbah

Debit air limbah Rumah Sakit X ditentukan berdasarkan debit rata-rata dan debit peak. Hasil pengukuran debit air limbah dilakukan selama satu minggu pada jam puncak pelayanan Rumah Sakit X yaitu jam 11.00. Hasil pengukuran debit ditunjukkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil Pengukuran Debit (m³/hari)

Hari, Tanggal	Debit (m ³ /hari)
Senin, 16 maret 2015	69,49
Selasa, 17 maret 2015	47,39
Rabu, 18 maret 2015	50,13
Kamis, 19 maret 2015	47,25
Jumat, 19 maret 2015	78,47
Sabtu, 20 maret 2015	50,14
Minggu, 21 maret 2015	41,48

Berdasarkan pada tabel 6.0, dapat dibuat grafik yang menunjukkan debit puncak yang ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik hasil pengukuran debit (m³/hari)

a. Debit Rata-rata Air Limbah

Debit rata-rata selama pengukuran satu minggu dengan *flowmeter* diperoleh debit rata-rata yaitu sebesar 55 m³/hari

b. Debit Peak Air Limbah

Berdasarkan grafik pengukuran debit, diperoleh debit peak (puncak) pada hari jumat, 19 maret 2015 dengan debit sebesar 78,47 m³/hari yang digunakan sebagai debit desain. Debit peak digunakan karena pada IPAL Rumah Sakit X memiliki tipe debit yang beragam sehingga desain dengan Q peak dimaksudkan agar saat kondisi puncak instalasi yang ada masih dapat mengalirkan dan mengolah air limbah.

5.3 Beban Air Limbah yang Diolah

Beban air limbah yang masuk pada IPAL Rumah Sakit X berdasarkan perhitungan melalui debit x konsentrasi BOD in = 78,47 m³/hari x 0,156 kg/m³ = 12,24 kg BOD/hari dengan kapasitas IPAL maksimum dapat menampung debit hingga 200 m³/hari dan konsentrasi BOD hingga 0,75 kg/m³ diperoleh beban maksimum air limbah yang dapat diolah sebesar 150 kg BOD/hari. Sehingga IPAL Rumah Sakit X

masih dapat menampung beban BOD air limbah yang masuk.

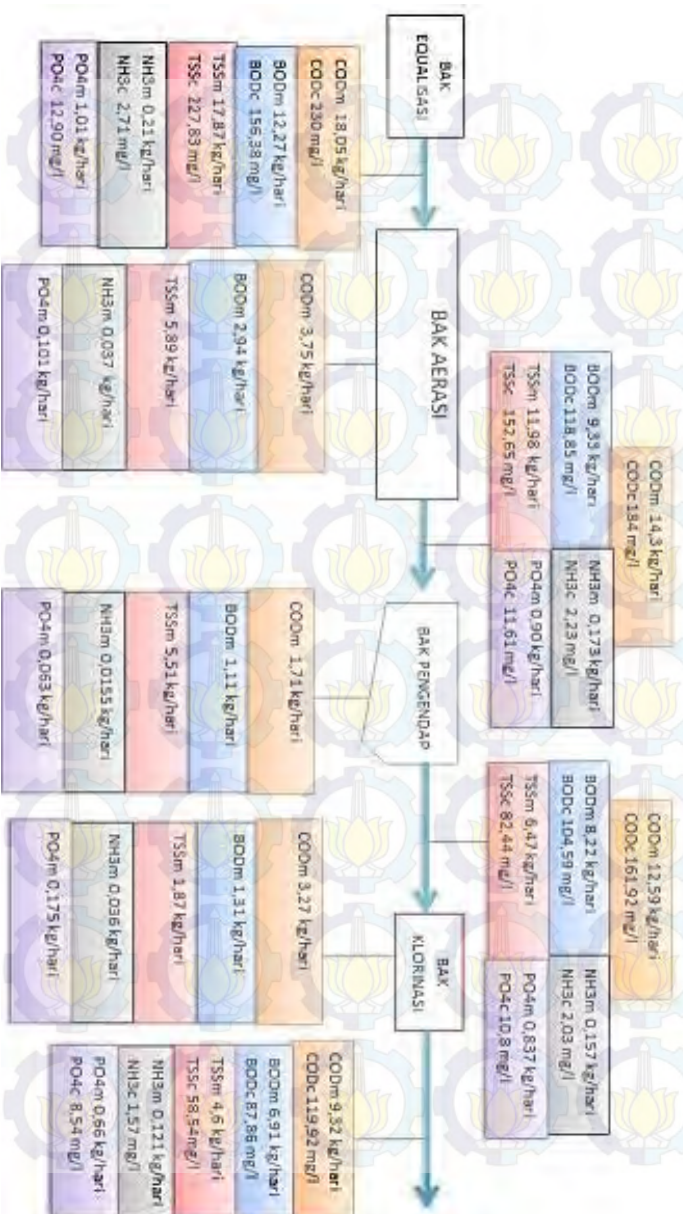
5.4 Mass Balance

Kesetimbangan massa pada IPAL digunakan untuk mengetahui berapa massa lumpur yang diresirkulasi dan yang seharusnya dibuang menuju unit pengolahan lumpur. Hal ini dilakukan untuk menjaga nutrisi dan jumlah bakteri pengurai dalam lumpur aktif sehingga proses penguraian bahan organik dapat berjalan secara optimal. Konsep kesetimbangan massa yaitu $\text{massa in} = \text{massa out}$.

5.4.1 Mass Balance Kondisi Eksisting

Mass balance kondisi eksisting dihitung berdasarkan konsentrasi rata-rata tiap parameter selama satu bulan dengan % efisiensi sesuai dengan efisiensi unit IPAL selama satu bulan.

Hasil perhitungan mass balance ditunjukkan dalam bagan alir pada Gambar 5.4.

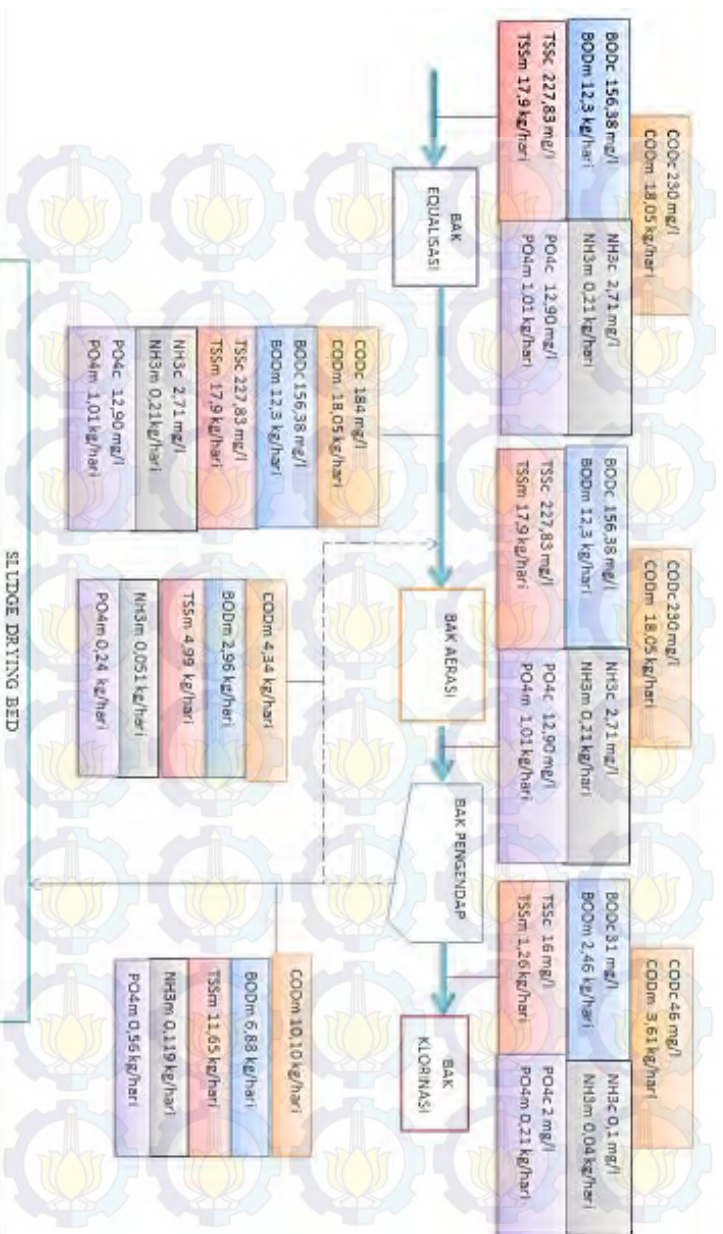


Gambar 5.4 Bagian Alir Mass Balance Kondisi Eksisting

Pada mass balance kondisi eksisting terlihat bahwa massa yang mengendap pada bak pengendap tanpa adanya proses resirkulasi lumpur menyebabkan terjadinya manajemen pengendapan yang buruk akibatnya partikel yang seharusnya mengendap pada zona pengendapan masih ikut terbawa pada efluen bak pengendap. Selain itu, sering ditemukan bulking sludge yang mengapung di bak pengendap. *Bulking sludge* menunjukkan kurangnya nutrisi, tingginya f/m rasio pada bak pengendap dikarenakan tidak terdapat resirkulasi lumpur yang bertujuan untuk menjaga f/m rasio agar seimbang (Metcalf dan Eddy, 2014).

5.4.2 Mass Balance Kondisi Ideal

Mass balance kondisi ideal dihitung berdasarkan konsentrasi rata-rata tiap parameter selama satu bulan dengan % efisiensi sesuai dengan efisiensi unit IPAL berdasarkan pada Metcalf dan Eddy (2004) yaitu 85-90%, efisiensi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah 90%. Hasil perhitungan mass balance ditunjukkan dalam bagan alir pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Bagan Alir Mass Balance Kondisi Ideal

Berdasarkan *mass balance* kondisi ideal terdapat proses resirkulasi lumpur yang direncanakan yaitu sebesar 30% dari massa total dan massa lumpur yang dibuang adalah 70% dari massa total. Pembuangan lumpur dilakukan pada *sludge drying bed* sebagai unit pengolahan lumpur. Hasil dari *mass balance* kondisi ideal adalah konsentrasi air limbah yang dihasilkan telah memenuhi ambang baku mutu air limbah rumah sakit.

5.5 Review Desain Unit IPAL Rumah Sakit X

Review desain unit IPAL Rumah Sakit X dilakukan dengan membandingkan ketepatan desain pada bangunan IPAL kondisi eksisting dengan literatur sehingga diperoleh adanya rekomendasi. Unit IPAL yang akan direview desain meliputi bak equalisasi, bak aerasi, bak pengendap dan bak klorinasi.

5.5.1 Review Desain Bak Equalisasi

Bak equalisasi berfungsi untuk menampung air limbah yang berasal dari bak control tiap gedung yang terdiri dari gedung rawat inap Shofa, Nur Afyah, Maskin, Shofa, gedung jenazah dan gedung instalasi gizi dan administrasi dengan sistem pompa. Gambar bak equalisasi ditunjukkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Bak Equalisasi Eksisting Rumah Sakit X

- a. Sistem Kerja Bak Equalisasi
 - Pada bak equalisasi terdapat pipa influen, pompa submersible dan pipa efluen yang menuju pada bak aerasi

- Sistem kerja pompa submersible adalah berdasarkan pada *water level detector* jika telah mencapai ketinggian ± 1 m maka air langsung dipompa menuju bak aerasi

b. Review Desain Bak Equalisasi

Kriteria desain dari bak equalisasi meliputi :

Waktu detensi = 4-8 jam

Tinggi = 1,5 – 2 m

Mixer (pengaduk) = jangkauan mixer 1/2 – 2/3 kedalaman

Diketahui :

Q peak = 78,47 m³/hari

Dimensi Bak Equalisasi:

Panjang = 1 m

Lebar = 1 m

Tinggi = 2 m

Volume = 2 m³

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 T_d &= \frac{\text{Volume}}{Q} \\
 &= \frac{2 \text{ m}^3}{78,47 \text{ (m}^3/\text{hari)}} \\
 &= 0,0255 \text{ hari} \\
 &= 36,7 \text{ menit (tidak sesuai dengan kriteria}
 \end{aligned}$$

desain yaitu 4-8 jam sehingga diperlukan perluasan dimensi bak equalisasi)

Kapasitas pompa

Pompa yang digunakan jenis pompa submersible dengan jumlah 1 unit

Kapasitas pompa : 0,5 m³/menit

Perhitungan :

Q pompa : 78,47 m³/hari

: 0,054 m³/menit (pompa masih dapat menampung debit air limbah pada kondisi eksisting)

Pipa

Kecepatan air dalam pipa menurut kriteria desain adalah 0,3 – 2 m/s

Kondisi eksisting

Pipa inlet yang berasal dari 5 bak control tiap gedung diameter pipa: 80 mm

$$\begin{aligned} A &: 0,25 \times 3,14 \times (0,08^2) \\ &: 0,002 \text{ m}^2 \\ v &: Q / A \\ &: (0,001 \text{ m}^3/\text{s}) / 0,002 \text{ m}^2 \\ &: 0,2 \text{ m/s (tidak sesuai kriteria desain)} \end{aligned}$$

Diameter pipa efluen yang terletak pada pompa submersible dengan diameter pipa 150 mm

c. Rekomendasi

Rekomendasi pada bak equalisasi antara lain:

1. Memperluas ukuran dimensi bak

Tujuan memperluas dimensi bak adalah agar terdapat ruang untuk mixing dan waktu detensi yang memenuhi kriteria desain. Perhitungan volume efektif bak equalisasi berdasarkan pada %penggunaan air bersih Rumah Sakit X berdasarkan SOP Instalasi Rumah Sakit X bahwa air limbah non toksik yang dihasilkan berasal dari 35% kegiatan MCK, 20% laundry rumah sakit, 15% dapur, dll. Sehingga prosentase air limbah yang dihasilkan adalah sebesar 70%.

$$Q \text{ air limbah} = 78,47 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ air bersih} &= 78,47 \text{ m}^3/\text{hari} \times 70\% \\ &= 112,1 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 4,671 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

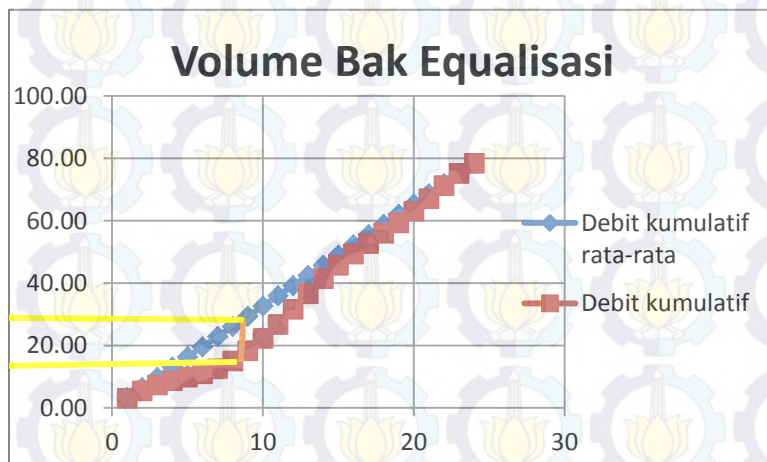
Tabel hasil perhitungan bak equalisasi ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Perhitungan Bak Equalisasi

Jam	% penggunaan air bersih	Q air bersih (m ³ /jam)	Q air limbah (m ³ /jam)	Debit kumulatif (m ³ /jam)	Debit kumulatif rata-rata (m ³ /jam)
1	4,0%	4,484	3,14	3,14	3,27

Jam	% penggunaan air bersih	Q air bersih (m ³ /jam)	Q air limbah (m ³ /jam)	Debit kumulatif (m ³ /jam)	Debit kumulatif rata-rata (m ³ /jam)
2	3,0%	3,363	2,35	5,49	6,54
3	2,4%	2,690	1,88	7,38	9,80
4	1,8%	2,018	1,41	8,79	13,07
5	1,41%	1,581	1,11	9,90	16,34
6	1,40%	1,569	1,10	10,99	19,61
7	2,00%	2,242	1,57	12,56	22,88
8	3,20%	3,587	2,51	15,07	26,14
9	4,20%	4,708	3,30	18,37	29,41
10	5,00%	5,605	3,92	22,29	32,68
11	5,70%	6,390	4,47	26,77	35,95
12	6,2%	6,950	4,87	31,63	39,22
13	6,40%	7,174	5,02	36,65	42,48
14	6,1%	6,838	4,79	41,44	45,75
15	5,50%	6,166	4,32	45,76	49,02
16	4,6%	5,157	3,61	49,37	52,29
17	4,30%	4,820	3,37	52,74	55,56
18	4,20%	4,708	3,30	56,04	58,82
19	4,24%	4,753	3,33	59,36	62,09
20	4,80%	5,381	3,77	63,13	65,36
21	5,10%	5,717	4,00	67,13	68,63
22	5,30%	5,941	4,16	71,29	71,89
23	5,00%	5,605	3,92	75,21	75,16
24	4,10%	4,596	3,22	78,43	78,43
	100%	112,1	78,47		

Kemudian data debit kumulatif dan debit kumulatif rata-rata diplotkan pada grafik 5.7 untuk menentukan voume bak equalisasi.



Gambar 5.7 Grafik Volume Bak Equalisasi

Dari data yang diplotkan pada grafik maka diperoleh:

Selisih debit kumulatif rata-rata = $29,41 \text{ m}^3/\text{jam} - 16,34 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 13,07 \text{ m}^3/\text{jam}$

Volume = $13,07 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam}$
 $= 13,07 \text{ m}^3$

Dimensi bak equalisasi yang direncanakan :

Panjang = 3 m

Lebar = 2,5 m

Tinggi = 2 m

Volume menjadi = 15 m^3

Td = $78,47 \text{ m}^3/\text{hari} / 15 \text{ m}^3$

= 0,19 hari

= 5 jam (Ok)

2. Surface Aerator

Berdasarkan nilai SOR (Standard Oksigen Requirement) yang ditentukan berdasarkan suhu air limbah dalam bak

equalisasi pada kondisi eksisting sehingga dapat direncanakan surface aerator yang berfungsi untuk menciptakan kondisi aerob, proses pencampuran agar konsentrasi dan debit air limbah dapat homogen serta mencegah terjadinya pengendapan partikel pada bak equalisasi.

Standard Oksigen Requirement (SOR)

kelarutan oksigen dalam air (28°C) (C _{sw})	7,92	mg/L
kelarutan oksigen di udara (30°C) (C' _{sw})	7,63	mg/L
β (tegangan permukaan salinitas)	0,9	
C (konsentrasi DO minimum yang dipertahankan)	2	mg/L
a (faktor koreksi transfer oksigen antara (0,8-0,9))	0,85	
f (proporsional faktor)	0,5	
Temperatur rata-rata ambien	30	°C
temperatur rata-rata air limbah	28	°C
Q	78,47	m ³ /hari
Fa (faktor koreksi oksigen untuk ketinggian)	$1 - \frac{2m}{9450}$	
	0,99	
Kebutuhan Oksigen Teoritis	0,85	
SOR		
$\frac{Ro}{\left(\frac{C'_{sw} \beta Fa - C}{C_{sw}}\right)(1,024)^{T-20} \alpha}$	1,43	kg O ₂ /jam
Spesifikasi :		
Tipe	: SFA – 02	
Transfer rate	: 3 kg O ₂ /jam	
Diameter mixing area	: 2 -2,5 m	
Kedalaman mixing area	: 1,5 m- 2 m	
Pumping rate	: 5 m ³ /min	

(www.en-found.com)

3. Pipa influen

Pipa influen bak equalisasi yang direncanakan berukuran 80 mm atau berukuran 1 ½” maka kecepatan pipa menjadi:

$$A = 0,25 \times 3,14 \times 0,05^2$$

$$= 0,00196 \text{ m}^2$$

$$= \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{0,00091 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00196 \text{ m}^2}$$

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

Pada saat keadaan Q minimum = $41,48 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{0,0005 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00196 \text{ m}^2}$$

$$= 0,3 \text{ m/s}$$

Sehingga saat kondisi Q minimum, pipa influen yang direncanakan masih dapat mengalirkan air limbah.

Hasil review desain bak equalisasi di rangkum pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Ringkasan Review Desain Bak Equalisasi

Uraian	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan	Rekomendasi
Waktu detensi (td)	36,7 menit	4-8 jam	Tidak sesuai kd	Dimensi bak equalisasi direncanakan ulang yang disesuaikan dengan td kriteria desain diperoleh: Panjang = 3 m Lebar = 2,5 m Tinggi = 2 m Volume bak = 15 m ³ Td = 5 jam
Tinggi (m)	2 m	1,5 - 2 m	Sesuai kd	
Mixer	Tidak ada	Jangkauan mixer 1/2-2/3 kedalaman	Tidak sesuai kd	Direncanakan surface aerator dengan spesifikasi: Tipe : SFA – 02 Transfer rate: 3 kg O ₂ /jam Diameter mixing area: 2 -2,5 m Kedalaman mixing area : 1,5 m- 2 m Pumping rate : 5 m ³ /min (www.en-found.com)

Tabel 5.13 Ringkasan Perhitungan Aksesoris Bak Equalisasi

Uraian	Kondisi eksisting	Spesifikasi	Keterangan	Rekomendasi
Pompa submersible				
Q pengaliran				

Tabel 5.13 Ringkasan Perhitungan Aksesori Bak Equalisasi

Uraian	Kondisi eksisting	Spesifikasi	Keterangan	Rekomendasi
Kondisi Q peak	Q peak : 0,054 m ³ /menit	Kapasitas Pompa Q pengaliran pompa: 0,5 m ³ /menit	Masih memenuhi spesifikasi	
Pipa				
v pipa inlet	0,2 m/s	0,3-2 m/s	Tidak sesuai KD	Direncanakan pipa inlet dengan diameter 1 ½" maka kecepatan pipa menjadi 0,5 m/s

5.5.2 Review Desain Bak Aerasi

a. Sistem Kerja Bak Aerasi

- Jenis reaktor lumpur aktif adalah jenis *plug flow tipe step feed aeration* merupakan sistem lumpur aktif tanpa menggunakan bak pengendap awal dan untuk mengolah beban organik yang kecil (Metcalf dan Eddy, 2014)
- Reaktor dibagi menjadi 3 sekat dengan air limbah yang dialirkan dari sekat pertama (sistem seri)
- Kebutuhan udara pada bak aerasi menggunakan diffuser yang berjumlah 99 buah diameter 2 mm dengan 2 unit blower sebagai pemasok udara untuk diffuser

b. Kriteria desain bak aerasi

F/M rasio	: 0,2-0,4
organik loading rate	: $0,4 - 1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$
sludge retention rate	: 5 – 15 hari
MLSS	: 2000-3500 mg/L
HRT	: 3 – 10 jam
Rasio resirkulasi	: 25%-50%

(Metcalf dan Eddy, 2004)

a. Kondisi eksisting

Kondisi eksisting ini merupakan kondisi pada tiga stage.

Dimensi bak aerasi :

Panjang	: 8,3 m
Lebar	: 3,7 m
kedalaman	: 3,3 m
Volume	: 101 m^3
Rumus:	

- F/M rasio

$$= \frac{Q \times So}{\text{Volume} \times \text{MLVSS}}$$

Dimana:

Q	: Debit peak air limbah (m^3/hari)
So	: BODc influen aerasi (mg/L)
Volume	: Volume bak aerasi (m^3)
MLVSS	: 70% dari MLSS (mg/L)

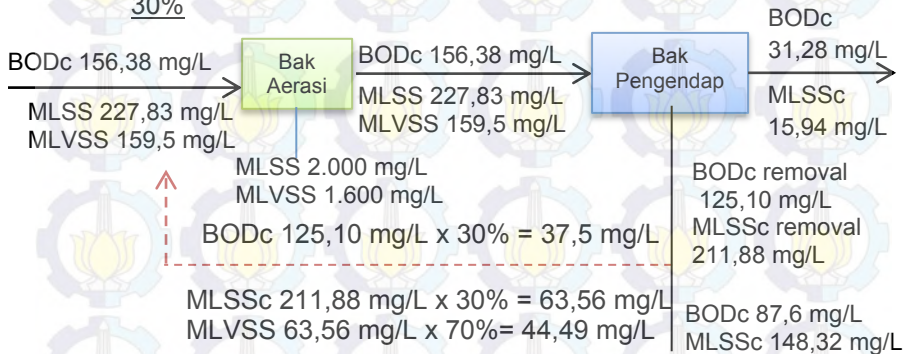
Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{F/M Rasio} &= \frac{78,47 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times 156,38 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{101 \left(\text{m}^3 \right) \times 159,5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \\
 &= 0,76 \text{ tidak sesuai kriteria} \\
 &\text{desain yaitu } (0,2-0,4)
 \end{aligned}$$

Keterangan:

Rasio F/M tinggi menunjukkan bahwa rasio *food* lebih tinggi daripada mikroorganisme. Rendahnya mikroorganisme pada bak aerasi disebabkan karena effluen bak aerasi berupa saluran seperti gorong-gorong menyebabkan konsentrasi MLSS pada bak aerasi berpindah menuju bak pengendap dan tidak terdapat sistem resirkulasi lumpur pada bak aerasi.

Jika penambahan F/M rasio terdapat sistem resirkulasi 30%



Jika dihitung dengan kondisi ideal, F/M rasio yang dihasilkan sebagai berikut:

Kriteria desain MLVSS = 1.600 mg/L
 MLVSS kondisi eksisting = 190,58 mg/L
 MLVSS yang diperlukan = 1.410 mg/L

$$\bullet \text{ F/M rasio} = \frac{Q \times S_o}{\text{Volume} \times \text{MLVSS}}$$

$$= \frac{78,47 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times (156,38 + 37,5) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{101 \left(\text{m}^3 \right) \times (1.600 + 44,49) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}$$

$$= 0,092 \text{ (tidak sesuai dengan)}$$

kriteria desain 0,2 – 0,4)

- Organik Loading Rate = $\frac{Q \times S_o}{\text{Volume}}$
 Dimana:
 Q : Debit peak air limbah (m³/hari)
 S_o : BOD_c influen aerasi (mg/L)
 Volume : Volume bak aerasi (m³)

Perhitungan:

$$\text{Organik Loading Rate} = \frac{78,47 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times 0,156 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{101 \left(\text{m}^3 \right)}$$

$$= 0,12 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \quad (0,4-1)$$

kg/m³.hari)

Keterangan :

Organik loading rate menunjukkan beban organik (BOD) dalam reaktor yang dibagi dengan volume bak (Metcalf dan Eddy, 2014). Berdasarkan hasil perhitungan, beban organik pada reaktor yang rendah menunjukkan bahwa bahan organik yang dapat diuraikan oleh bakteri dalam reaktor masih rendah sehingga dibutuhkan adanya sistem resirkulasi lumpur untuk menambah bakteri pengurai bahan organik.

- SRT = $\frac{\text{volume} \times \text{MLVSS}}{X_e + Q_w \times X_r}$
 Dimana:

Volume : Volume bak aerasi (m³)
 MLVSS : 70% dari MLSS (mg/L)
 Q : Debit peak air limbah (m³/hari)
 Q_w : Debit lumpur (m³/hari)
 X_e : MLVSS_c efluen bak aerasi (mg/L)

$$\begin{aligned}
 X_r & : 153 \text{ mg/L} \times 70\% = 107,1 \text{ mg/L} \\
 & : \text{MLVSSc resirkulasi bak aerasi (mg/L)} \\
 & : 63,56 \text{ mg/L} \times 70\% = 44,49 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{SRT} & = (101 \text{ m}^3 \times 159,5 \text{ mg/L}) / (78,47 \text{ m}^3/\text{hari} \times 107,1 \text{ mg/L}) \\
 & = 2 \text{ hari tidak sesuai kriteria desain yaitu 5-15 hari}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

Umur lumpur menunjukkan waktu tinggal rata-rata mikroorganisme dalam sistem lumpur aktif. Berdasarkan perhitungan bahwa umur lumpur hanya 1 hari. Menurut Metcalf dan Eddy (2014), nilai SRT berbanding terbalik dengan F/M rasio, hal ini sesuai dengan kondisi eksisting bahwa nilai rasio F/M tinggi menyebabkan SRT rendah. Hal ini disebabkan karena tidak terdapat sistem resirkulasi lumpur. Tujuan dari sistem resirkulasi lumpur ini adalah menambahkan jumlah mikroorganisme yang aktif kembali ke bak aerasi sehingga proses degradasi bahan organik dapat berlangsung lebih lama dengan hasil yang optimal.

Jika terdapat sistem resirkulasi maka nilai SRT menjadi:

$$\begin{aligned}
 Q \text{ waste sludge (m}^3/\text{hari)} & = \frac{\text{Massa TSS (}\frac{\text{kg}}{\text{hari}}\text{)}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6\% \times 1,012} \\
 & = \frac{11,61 (\frac{\text{kg}}{\text{hari}})}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6\% \times 1,012} \\
 & = 0,2 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SRT} & = (101 \text{ m}^3 \times 1.600 \text{ mg/L}) / (78,47 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,2 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 107,1 \text{ mg/L} + 0,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 44,49 \text{ mg/L}) \\
 & = 19 \text{ hari (tidak sesuai dengan kriteria desain yaitu 5-15 hari)}
 \end{aligned}$$

- MLSS = 227,83 mg/L (2000-3500 mg/L)
 MLVSS = 70% x 227,83 mg/L
 = 159,48 mg/L

Keterangan:

Data MLSS diperoleh dari TSS pada influen bak aerasi.

MLSS adalah jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk di dalamnya adalah mikroorganisme. MLSS ditentukan dengan cara menyaring lumpur campuran dengan kertas saring (filter), kemudian filter dikeringkan pada temperatur 105°C.

Perhitungan MLSS hasil analisa laboratorium adalah:

$$\text{MLSS (mg/L)} = \left(\frac{1000}{\text{ml sampel}} \times \text{selisih berat (gr)} \right) \times 1000$$

(Metcalf dan Eddy, 2004)

Rendahnya MLSS pada bak aerasi disebabkan karena tidak terdapatnya resirkulasi lumpur dan kesalahan desain pada efluen bak aerasi, desain efluen aerasi berupa saluran yang menyebabkan MLSS yang seharusnya terdapat pada bak aerasi, masuk menuju bak pengendap seperti pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Saluran efluen bak aerasi

- HRT
 HRT

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Debit}}$$

$$= \frac{101 \text{ m}^3}{78,47 \text{ m}^3/\text{hari}}$$

= 1,3 hari = 31,2 jam tidak sesuai dengan kriteria desain (3-8 jam)

- Produksi Lumpur

$$P_x = \frac{Y_{obs} \times Q \times (S_o - S)_{VSS}}{1000 \text{ kg/g}}$$

$$\text{Dimana : } Y_{obs} = \frac{Y}{1 + (b \times SRT)} + \frac{f d \times b \times Y \times SRT}{1 + (b \times SRT)}$$

Dimana :

Y : 0,6 g VSS / g BOD

b : Koefisien endogenous (0,06-0,15) (g VSS/gVSS .hari)

fd : Fraksi biomassa (0,10 – 0,15) (g VSS/g VSS)

$$Y_{obs} = \frac{0,6}{1 + (0,1 \times 1)} + \frac{0,10 \times 0,10 \times 0,6 \times 1}{1 + (0,1 \times 1)}$$

$$= 0,55 \text{ g VSS / g BOD}$$

$$= \frac{0,55 \frac{\text{kg VSS}}{\text{kg BOD}} \times 78,47 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times (159,5 - 107,1) \text{ mg/L}}{1000 \text{ kg/g}}$$

$$P_x = 2,26 \text{ kg/hari}$$

- Kebutuhan Oksigen

- ✓ Kondisi eksisting

$$\begin{aligned} R_o &= (Q \times (S_o - S)) - 1,42 \times P_{x_{bio}} \\ &= (78,47 \text{ m}^3/\text{hari} \times (156,38 - 106,62 \text{ mg/L})/1000) - \\ &1,42 \times 2,26 \text{ kg/hari} \\ &= 0,7 \text{ kg O}_2/\text{hari} \end{aligned}$$

- ✓ Kondisi ideal

Persamaan reaksi:



Diketahui:

Konsentrasi BODin ($C_6H_{12}O_6$) = $156,38 \text{ g/m}^3$

Maka kebutuhan O_2 sesuai persamaan reaksi = $6 \times 156,38 \text{ mg/L}$
= $938,28 \text{ g/m}^3$

Sehingga R_o

= $Q \times \text{konsentrasi } O_2$

= $78,47 \text{ m}^3/\text{hari} \times 938,28 \text{ g/m}^3$

= $73.626,83 \text{ g/hari}$

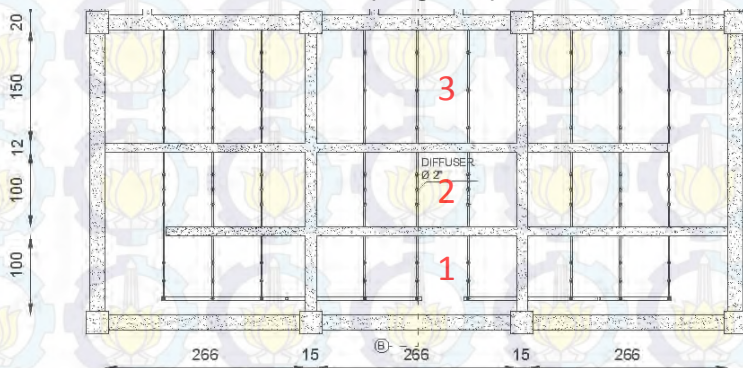
= $73,63 \text{ kg } O_2/\text{hari}$

Sehingga, kebutuhan O_2 ideal yang seharusnya diperlukan untuk mendegradasi bahan organik sebesar $156,38 \text{ g/m}^3$ adalah $73,62 \text{ kg } O_2/\text{hari}$ sehingga ketersediaan O_2 pada kondisi eksisting yaitu hanya $0,7 \text{ kg } O_2/\text{hari}$ masih sangat kurang. Hal ini dikarenakan tidak semua diffuser yang ada berfungsi dengan optimal. Menurut pihak Rumah Sakit X dari 99 diffuser, hanya 54 unit diffuser yang berfungsi untuk mensuplai udara. Sedangkan 45 unit diffuser sisanya dalam keadaan rusak. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan pada diffuser agar suplai udara dalam bak aerasi dapat berjalan dengan optimal.

b. Rekomendasi

Rekomendasi yang direncanakan pada bak aerasi adalah sebagai berikut:

1. Dari tiga stage pada bak aerasi, dibandingkan kondisi jika menggunakan satu stage dan dua stage pada bak aerasi dikarenakan jika menggunakan kondisi tiga stage, tidak memenuhi kriteria desain bak pengendap.



Gambar 5.9 Denah Bak Aerasi

• Kondisi Pada Satu Stage

Dimensi :

Panjang = 8,3 m

Lebar = 1 m

Tinggi = 3,3 m

Volume = 27 m³

$$\begin{aligned} \bullet \text{ HRT} &= \text{Volume} / Q \\ &= 27 \text{ m}^3 / 78,47 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,34 \text{ hari} = 8,2 \text{ jam (3 -10 jam)} \end{aligned}$$

Keterangan :

Pada kondisi satu stage, nilai HRT memenuhi kriteria desain yaitu 5 jam.

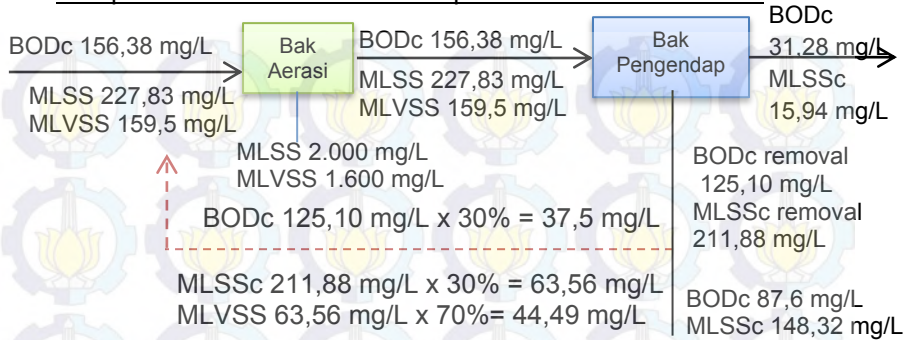
$$\begin{aligned} \bullet \text{ F/M rasio} &= \frac{Q \times S_o}{\text{Volume} \times \text{MLVSS}} \\ &= \frac{78,47 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times 156,38 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{27 (\text{m}^3) \times 159,5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \\ &= 2,84 \text{ tidak sesuai kriteria desain yaitu} \\ &\quad (0,2-0,4) \end{aligned}$$

Keterangan:

Nilai F/M rasio terlalu tinggi yaitu 2,84 menunjukkan bahwa nilai food lebih besar dari mikroorganisme hal ini dikarenakan tidak terdapat rasio resirkulasi lumpur dan desain efluen pada bak aerasi yang berupa saluran gorong-gorong menyebabkan seluruh kandungan MLSS yang seharusnya pada bak aerasi masuk menuju bak pengendap.

Pada kondisi ideal, jika direncanakan resirkulasi lumpur sebesar 30%, maka nilai F/M rasio menjadi:

Jika penambahan F/M rasio terdapat sistem resirkulasi 30%



- F/M rasio

$$\begin{aligned}
 &= \frac{Q \times S_o}{\text{Volume} \times \text{MLVSS}} \\
 &= \frac{78,47 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times (156,38 + 37,5) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{27 \left(\text{m}^3 \right) \times (1.600 + 44,49) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \\
 &= 0,34 \text{ (kriteria desain } 0,2-0,4 \text{) maka F/M} \\
 &\text{rasio memenuhi kriteria desain}
 \end{aligned}$$

- Organik Loading Rate = $\frac{Q \times S_o}{\text{Volume}}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{78,47 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,156 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{27 \left(\text{m}^3 \right)} \\
 &= 0,45 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (0,4–1 kg/m}^3 \cdot \text{hari)}
 \end{aligned}$$

Nilai organik loading rate pada bak aerasi stage 1, telah memenuhi kriteria desain

- Q waste sludge (m³/hari) = $\frac{\text{Massa TSS} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}} \right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6\% \times 1,012}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{11,61 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}} \right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6\% \times 1,012}
 \end{aligned}$$

$$= 0,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- $\text{SRT} = (27 \text{ m}^3 \times 1.600 \text{ mg/L}) / (78,47 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 107,1 \text{ mg/L} + 0,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 44,49 \text{ mg/L})$

= 5 hari (sesuai dengan kriteria desain yaitu 5-15 hari)

• Kondisi Pada Dua Stage

Dimensi :

Panjang = 8,3 m

Lebar = 2 m

Tinggi = 3,3 m

Volume = 55 m³

- $\text{HRT} = \text{Volume} / Q$
 $= 55 \text{ m}^3 / 78,47 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $= 0,7 \text{ hari} = 16 \text{ jam} (3 - 10 \text{ jam})$

Keterangan :

Pada kondisi dua stage, nilai HRT tidak memenuhi kriteria desain yaitu 16 jam.

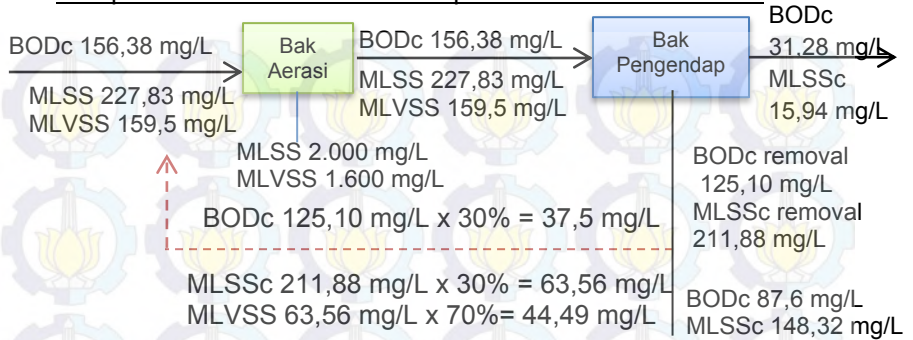
- $\text{F/M rasio} = \frac{Q \times S_o}{\text{Volume} \times \text{MLVSS}}$
 $= \frac{78,47 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 156,38 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{55 (\text{m}^3) \times 159,5 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}$
 $= 1,4 \text{ tidak sesuai kriteria desain yaitu}$

(0,2-0,4)

Keterangan:

Nilai F/M rasio terlalu tinggi yaitu 1,4 menunjukkan bahwa nilai food lebih besar dari mikroorganisme hal ini dikarenakan tidak terdapat rasio resirkulasi lumpur dan desain efluen pada bak aerasi yang berupa saluran gorong-gorong menyebabkan seluruh kandungan MLSS yang seharusnya pada bak aerasi masuk menuju bak pengendap.

Jika penambahan F/M rasio terdapat sistem resirkulasi 30%



• F/M rasio

$$\begin{aligned}
 &= \frac{Q \times S_o}{\text{Volume} \times \text{MLVSS}} \\
 &= \frac{78,47 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times (156,38 + 37,5) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{55 \text{ (m}^3\text{)} \times (1.600 + 44,49) \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)} \\
 &= 0,2 \text{ (kriteria desain 0,2-0,4) maka F/M} \\
 &\text{rasio memenuhi kriteria desain}
 \end{aligned}$$

• Organik Loading Rate

$$\begin{aligned}
 &= \frac{Q \times S_o}{\text{Volume}} \\
 &= \frac{78,47 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times 0,156 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{55 \text{ (m}^3\text{)}} \\
 &= 0,22 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (0,4–1 kg/m}^3 \cdot \text{hari)}
 \end{aligned}$$

Nilai organik loading rate pada bak aerasi stage 2, tidak memenuhi kriteria desain

• Q waste sludge (m³/hari)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Massa TSS} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}} \right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6\% \times 1,012} \\
 &= \frac{11,61 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}} \right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6\% \times 1,012} \\
 &= 0,2 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{SRT} &= (55 \text{ m}^3 \times 1.600 \text{ mg/L}) / (78,47 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 107,1 \text{ mg/L} + 0,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 44,49 \text{ mg/L}) \\ &= 10 \text{ hari (sesuai dengan kriteria desain yaitu 5-15 hari)} \end{aligned}$$

- Pipa Efluen direncanakan terdapat 1 pipa jenis PVC AW

Direncanakan pipa berukuran 75 mm atau 2 ½"

$$Q \text{ (1 pipa)} = 0,00091 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 0,25 \times 3,14 \times (0,075^2)$$

$$= 0,00502 \text{ m}^2$$

$$v \text{ (m/s)} = 0,3 \text{ m/s rentang } v \text{ (0,3 m/s - 1 m/s)}$$

Letak pipa efluen direncanakan sesuai dengan kondisi muka air minimum yang ditentukan berdasarkan Q minimum.

$$\text{Volume minimum bak} = Q \text{ min} \times t_d$$

$$= 41,48 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,34 \text{ hari}$$

$$= 14,2 \text{ m}^3$$

$$H \text{ min} = \text{Vol. minimum} / A$$

$$= 14,2 \text{ m}^3 / 8,3 \text{ m}^2$$

$$= 2 \text{ m}$$

- Kapasitas Blower Rumah Sakit X pada kondisi eksisting
Suplai udara = Kebutuhan udara teoritis x BOD loading rate x V

$$= 0,03 \text{ kg/m}^3 \times 0,12 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \times 101 \text{ m}^3$$

$$= 0,36 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,00025 \text{ m}^3/\text{menit}$$

Spesifikasi blower adalah 6,2 m³/menit sehingga spesifikasi blower yang ada masih dapat mencukupi suplai udara yang dibutuhkan pada kondisi eksisting.

Ringkasan hasil rangkuman rekomendasi stage pada bak aerasi ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Hasil Rangkuman Rekomendasi Stage Bak Aerasi Pada Kondisi Ideal

Uraian	Kriteria Desain	1 Stage		2 Stage		3 Stage	
		Hasil Hitungan	Keterangan	Hasil Hitungan	Keterangan	Hasil Hitungan	Keterangan
HRT	3-10 jam	8,2 jam	memenuhi KD	16 jam	Tidak memenuhi KD	31,2 jam	Tidak memenuhi KD
F/M rasio	0,2-0,4	0,35	memenuhi KD	1,4	Tidak memenuhi KD	0,09	Tidak memenuhi KD
Organik loading rate	0,4-1 ¹ kg/m ³ .hari	0,45 kg/m ³ .hari	memenuhi KD	0,22 kg/m ³ .hari	Tidak memenuhi KD	0,12 kg/m ³ .hari	Tidak memenuhi KD
SRT	5-15 hari	5 hari	memenuhi KD	10 hari	Memenuhi KD	19 hari	Tidak memenuhi KD

Keterangan:

Berdasarkan hasil perhitungan yang disesuaikan dengan kriteria desain, maka kondisi ideal terdapat bak aerasi yang menggunakan 1 stage. Dari keseluruhan kriteria desain bak aerasi, hanya pada kondisi 1 stage yang dapat memenuhi sesuai dengan kriteria desain. Sehingga, rekomendasi yang diberikan pada IPAL Rumah Sakti X adalah menerapkan 1 stage pada bak aerasi dengan memberikan sekat pada stage 1.

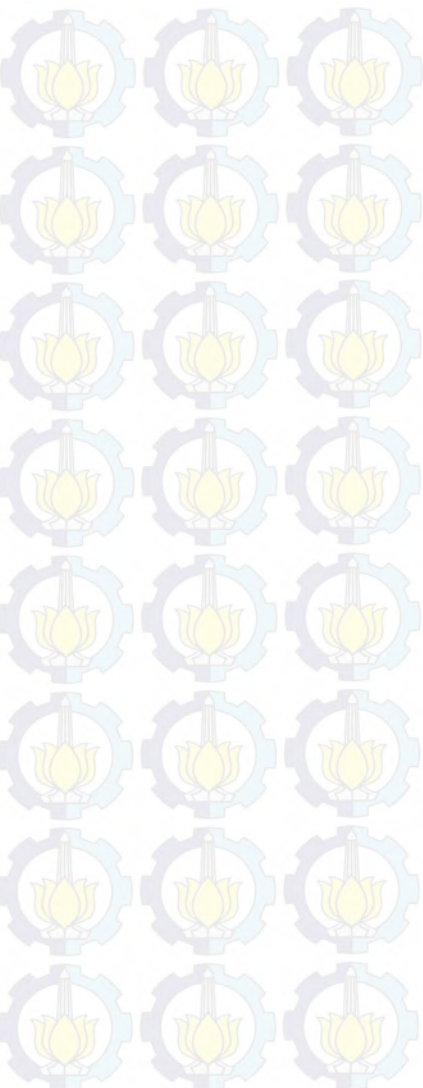


Tabel 5.15 Review Desain Bak Aerasi Kondisi Eksisting

Uraian	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan	Rekomendasi
HRT	31,2 jam	3-10 jam	tidak sesuai KD	• Menerapkan kondisi 1 stage pada bak aerasi sehingga HRT menjadi 8,2 jam • Menerapkan sistem resirkulasi lumpur sebesar 30%
F/M rasio	0,8	0,2-0,4	tidak sesuai KD	• Menutup saluran effluen aerasi agar MLSS yang seharusnya ada pada bak aerasi tidak masuk ke bak pengendap dengan menutup saluran effluen aerasi dan diganti dengan merencanakan pipa effluen 75 mm atau 2 1/2" sehingga nilai MLSS dapat memenuhi kriteria desain
Organik loading rate	0,12kg/m ³ .hari	0,4-1 kg/m ³ .hari	tidak sesuai KD	• Menerapkan kondisi 1 stage pada bak aerasi diperoleh OLR sebesar 0,45 kg/m³.hari
SRT	2 hari	5-15 hari	tidak sesuai KD	• Menerapkan kondisi 1 stage pada bak aerasi diperoleh SRT selama 6 hari
MLSS	227,83 mg/L	2000-3500 mg/L	tidak sesuai KD	• Menutup saluran effluen aerasi agar MLSS yang seharusnya ada pada bak aerasi tidak masuk ke bak pengendap dengan menutup saluran effluen aerasi

Tabel 5.15 Review Desain Bak Aerasi Kondisi Eksisting

Uraian	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan	Rekomendasi
Rasio resirkulasi	-	25%-50%	tidak sesuai KD	- dan diganti dengan merencanakan pipa efluen 75 mm atau 2 1/2" sehingga nilai MLSS dapat memenuhi kriteria desain • Menerapkan sistem resirkulasi lumpur sebesar 30% • Menerapkan sistem resirkulasi lumpur sebesar 30% menuju bak aerasi



5.5.3 Review Desain Bak Pengendap

a. Sistem Kerja Bak Pengendap

- Terdapat tube settler yang terletak pada dua bak pengendap yang berfungsi untuk membantu proses pengendapan
- Terdapat saluran outlet yang menampung efluen dari bak pengendap

b. Review Desain Bak Pengendap

Kriteria desain :
Tinggi : 3-6 m
Td : 1 – 2 jam
Overflow rate : $24 - 32 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$ (keadaan Q_{peak})
Solid loading rate : $164 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{hari}$ (keadaan Q_{peak})
(Metcalf dan Eddy, 2003)

Dimensi :
Panjang : 8,28 m
Lebar : 2,6 m
Tinggi : 3,3 m
Volume : 71 m^3
Td $= \frac{V}{Q}$
 $= \frac{71 \text{ m}^3}{78,47 (\text{m}^3/\text{hari})}$
 $= 1 \text{ hari} = 24 \text{ jam}$ (kriteria desain 1-2 jam)

Overflow rate $= \frac{Q}{A_{\text{surface}}}$
 $= \frac{78,47 (\text{m}^3/\text{hari})}{(8,28 \text{ m} \times 2,6 \text{ m})}$
 $= 3,64 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$ ($24 - 32 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$)

Keterangan:

Overflow rate menunjukkan laju pemisahan antara padatan dengan supernatan di atas permukaan air (Kurniawan, 2015). Berdasarkan hasil perhitungan dapat dianalisis bahwa laju pemisahan antara padatan dengan supernatan masih sangat

rendah dari kriteria desain yang mengakibatkan padatan dengan supernatan masih bercampur pada efluen air limbah.

$$\begin{aligned}\text{Solid loading rate} &= \frac{Q \times X(TSS)}{A_{\text{surface}}} \\ &= \frac{78,47 \text{ (m}^3/\text{hari)} \times 0,153 \text{ kg/m}^3}{(8,28 \text{ m} \times 2,6 \text{ m})} \\ &= 0,55 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hari} \text{ (164 kg/m}^2/\text{hari)}\end{aligned}$$

Keterangan:

Solid loading rate menunjukkan massa padatan per satuan luas per satuan waktu, parameter ini menunjukkan jumlah maksimum lumpur yang mengendap di dasar bak pengendap (Setiyawan dan Hari, 2010). Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa lumpur yang dapat mengendap di dasar bak sangat rendah sehingga tidak terjadi proses pengendapan. Akibatnya air limbah dan padatan tetap bercampur bersama efluen air limbah.

c. Review Desain Proses Bak Pengendap

Pada bak pengendap, karakteristik aliran sangat diperlukan untuk mengetahui bagaimana proses pengendapan yang terjadi.

- Kontrol Kecepatan Pengendapan
 - ✓ Ukuran partikel ditentukan berdasarkan pada grafik ukuran partikel Metcalf dan Eddy (2014) yaitu sebesar 1 mm dengan nilai $S_g = 1,3$

✓ Perhitungan:

Diameter rata-rata partikel = 1 mm

S_g partikel

$$= 1,3$$

V_p

$$= \frac{g \times (S_{gp} - 1) \times d_p^2}{18 \nu}$$

$$= \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times (1,3 - 1) \times (10^{-3} \text{ m})^2}{18 \times 8,774 \times 10^{-7} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)}$$

$$= 0,186 \text{ m/s}$$

V_s

$$= \frac{Q}{A_{\text{surface}}}$$

$$= \frac{0,0009 \text{ m}^3/\text{hari}}{8,28 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}} \\ = 0,000042 \text{ m/s}$$

Syarat pengendapan adalah $V_p > V_s$ maka jika berdasarkan perhitungan yaitu V_p sebesar 0,186 m/s dan V_s sebesar 0,000042 m/s maka partikel akan mengendap.

- Kontrol Bilangan Reynold (Nre)

Bilangan reynolds digunakan untuk menunjukkan kondisi aliran pada bak pengendap apakah aliran dalam kondisi laminar atau turbulen. Sesuai dengan SNI 6774 2008 bahwa nilai bilangan reynolds harus kurang dari 2.000.

$$\begin{aligned} V_h &= Q / A_c \\ &= 0,00091 \text{ (m}^3/\text{s)} / 8,6 \text{ (m}^2) \\ &= 0,000106 \text{ m/s} \\ R &= (\text{lebar} \times \text{tinggi}) / (\text{lebar} + 2 \times \\ \text{tinggi}) &= (2,6 \times 3,3) \text{ m} / (2,6 \text{ m} + 2 \times 3,3 \\ \text{m}) &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{re} &= (V_h \times R) / \nu \\ &= (0,000106 \text{ m/s} \times 0,9 \text{ m}) / 0,8774 \\ &\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ &= 108,73 < 500 \text{ maka aliran} \\ &\text{termasuk aliran laminar} \end{aligned}$$

- Kontrol Froude Number

Bilangan froude menunjukkan apakah kondisi aliran subkritis, kritis dan superkritis. Pada bak pengendap, aliran dijaga pada kondisi subkritis yaitu aliran dimana gaya gravitasi lebih mendominasi dari gaya inersia sehingga kecepatan aliran cukup rendah (Yulianti, 2012). Menurut SNI 6774 2008 bahwa bilangan froude dirancang $> 10^{-5}$.

$$\begin{aligned} \text{Froude number} &= (V_h^2 / (g \times R)) \\ V_h &= Q / (\text{tinggi} \times \text{lebar}) \\ &= 0,00091 \text{ m}^3/\text{s} / (3,3 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}) \\ &= 0,000105 \text{ m/s} \\ \text{Froude number} &= (0,000105 \text{ m/s})^2 / (9,81 \times 0,5) \end{aligned}$$

$= 2,28 \times 10^{-9} < 10^{-5}$ tidak memenuhi kriteria desain sehingga terjadi aliran pendek yang berpotensi dapat mengganggu proses pengendapan.

d. Review Desain Tube Settler Bak Pengendap

Review desain untuk tube settler dianalisis berdasarkan pada spesifikasi dan desain tube settler.

- Review Desain Spesifikasi Tube Settler

Spesifikasi tube settler kondisi eksisting

Jumlah	480	buah
Diameter	5	cm
panjang	4	m
kemiringan	30	°
bahan	PVC AW	
tebal	0,7	mm

Jika dibandingkan dengan SNI 6773-2008 untuk spesifikasi tube settler :

- Pada kapasitas IPA 1-10 L/detik maka diameter tube settler adalah 4 cm
 - Lebar tube disesuaikan dengan lebar bak pengendap
- Maka, spesifikasi tube settler yang digunakan tidak tepat.
- Review Desain Letak Tube Settler



Kesalahan letak tube settler yaitu kemiringan tube yaitu 30° menyebabkan ruang untuk proses pengendapan berkurang, partikel yang seharusnya mengendap pada dasar bak pengendap justru sebagian mengendap di bagian bawah tube seperti pada Gambar 5.10.

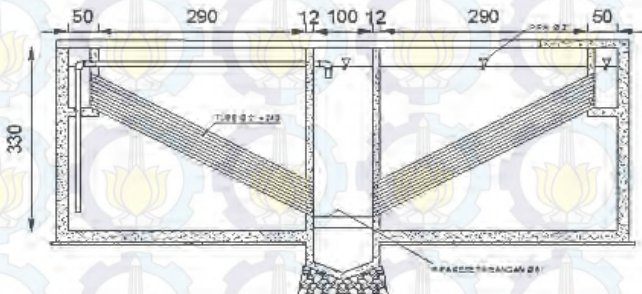
Gambar 5.10 Letak tube settler

Sehingga tube settler perlu direncanakan ulang dengan spesifikasi yang tepat dan peletakkan tube settler yang sesuai untuk membantu proses pengendapan.

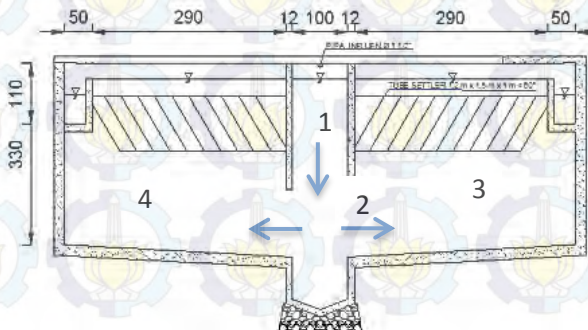
e. Rekomendasi

1. Modifikasi desain

Modifikasi desain bertujuan untuk memperbaiki desain bangunan pengendap tanpa mengganti kondisi bangunan secara total. Sesuai dengan gambar modifikasi desain, maka pada desain diperlukan kontrol proses yang berfungsi untuk mengetahui kondisi aliran dan proses pengendapan yang terjadi. Untuk kondisi aliran digunakan kontrol Nre dan proses pengendapan digunakan kontrol pada kecepatan penggerusan. Gambar perbandingan desain antara kondisi eksisting dengan modifikasi desain ditunjukkan pada Gambar 5.11 dan 5.12.



Gambar 5.11 Bak Pengendap pada Kondisi Eksisting

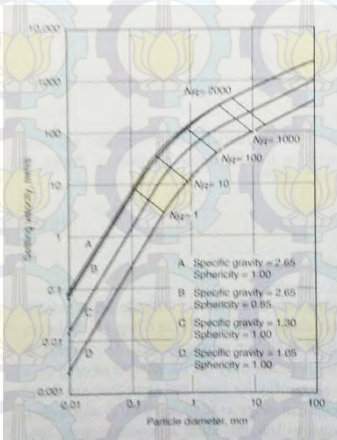


Gambar 5.12 Modifikasi Desain Bak Pengendap

Berdasarkan pada modifikasi desain, dilakukan analisa kontrol proses pada bak pengendap yang bertujuan untuk mengetahui kondisi aliran dan kecepatan pengendapan yang terjadi pada tiap kondisi sehingga proses pengendapan dapat berjalan dengan efektif.

Ditentukan:

Ukuran partikel ditentukan berdasarkan pada grafik ukuran partikel Metcalf dan Eddy (2014) yaitu sebesar 1 mm dengan nilai $S_g = 1,3$.



Gambar 5.13 Grafik Partikel

Diameter rata-rata partikel

= 1 mm

S_g partikel

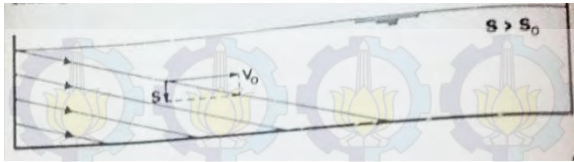
= 1,3

V_p

$$\begin{aligned}
 &= \frac{g \times (S_{gp} - 1) \times d_p^2}{18 \nu} \\
 &= \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \times (1,3 - 1) \times (10^{-3} \text{ m})^2}{18 \times 8,774 \times 10^{-7} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)} \\
 &= 0,186 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

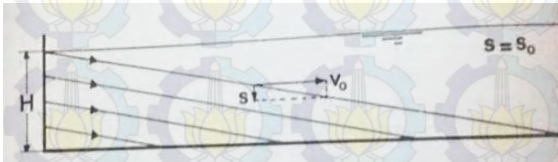
Kecepatan pengendapan

Menurut Huisman (1977), pengendapan partikel terjadi ketika kecepatan partikel (S) lebih besar dari kecepatan pengendapan atau overflow rate (S_o) yang fungsi dari A_{surface} seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.14, 5.15 dan 5.16.



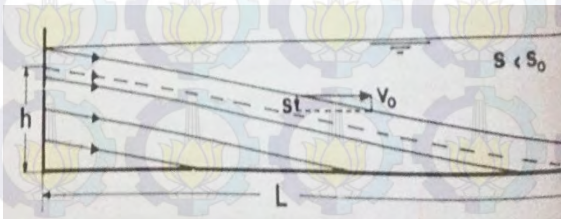
Pada gambar 5.13, dimana $S > S_0$ maka partikel akan mengendap

Gambar 5.14 Kondisi Ideal Pengendapan $S > S_0$



Pada Gambar 5.14, kondisi dimana $S = S_0$. Partikel masih dapat mengendap

Gambar 5.15 Kondisi Pengendapan $S = S_0$



Pada Gambar 5.15, kondisi dimana $S < S_0$ maka pada kondisi ini partikel akan sulit untuk mengendap.

Gambar 5.16 Kondisi Pengendapan $S < S_0$

Kecepatan penggerusan

Menurut Metcalf dan Eddy (2014), v scouring dihitung untuk mencegah adanya penggerusan oleh partikel halus dan untuk mencegah resuspensi partikel menuju pada efluen bak pengendap. Sehingga kecepatan horizontal pada bak pengendap harus rendah agar partikel yang telah mengendap tidak naik kembali dan bercampur bersama supernatan. Nilai v_h partikel harus lebih besar dari nilai v_h bak pengendap yang ditentukan berdasarkan debit puncak, maka partikel tidak akan tersuspensi bersama efluen supernatan.

Perhitungan modifikasi desain pada Gambar 5.12 berdasarkan tiap kondisi adalah sebagai berikut:

Kondisi 1

Kondisi satu menggambarkan zona inlet dari bak pengendap dimana aliran air limbah mengalir masuk ke bak pengendap yang berasal dari efluen bak aerasi. Perbedaan antara kondisi eksisting dengan kondisi satu adalah tinggi beton bangunan pada kondisi eksisting 3,3 m sedangkan pada kondisi satu menjadi 2,3 m. Fungsi dari kondisi satu adalah sebagai influen air limbah yang masuk sehingga dengan pemotongan tinggi beton bertujuan agar air limbah dapat masuk ke dalam zona pengendap.

Pada kondisi satu dihitung kondisi aliran dan kecepatan pengendapan yang bertujuan untuk mengetahui kecepatan penggerusan pada kondisi pertama. Perhitungan kondisi 1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Dimensi} &: \\ \text{Panjang} &= 1 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 2,6 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrol Bilangan Reynold (Nre)

$$\begin{aligned} V_h &= Q / (\text{panjang} \times \text{tinggi}) \\ &= (78,47 \text{ m}^3/\text{hari} / 86400) / (1 \times 2,3) \\ &= (0,00091 \text{ m}^3/\text{s}) / (5,58 \text{ m}^2) \\ &= 0,00039 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= (\text{tinggi} \times \text{lebar}) / (\text{lebar} + (2 \times \text{tinggi})) \\ &= (2,3 \times 2,6) / (2,6 + (2 \times 2,3)) \\ &= 0,83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{re} &= (V_h \times R) / \text{viskositas suhu rata-rata } 26^\circ\text{C} \\ &= (0,00039 \times 0,83) / (8,774 \times 10^{-7}) \\ &= 369 < 500 \text{ aliran laminar} \end{aligned}$$

(Huisman, 1977)

Kecepatan Pengendapan

$$\begin{aligned} V_{\text{partikel}} &= 0,186 \text{ m/s} \\ V_o / V_s &= Q / \text{lebar} \times \text{tinggi} \\ &= (78,47 \text{ m}^3/\text{hari} / 86400) / (2,6 \times 2,3) \end{aligned}$$

Syarat desain $V_p > V_s$ = 0,00015 m/s
 = 0,186 m/s > 0,00015 m/s maka memenuhi partikel dapat mengendap

Kecepatan Penggerusan

$$V_h \text{ partikel} = \sqrt{\frac{8 \times k \times (S_g - 1) \times g \times D}{f}}$$

$$= \sqrt{\frac{8 \times 0,05 \times (1,3 - 1) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,00}{0,02}}$$

$$= 0,24 \text{ m/s}$$

V_h saat kondisi Q_{peak} = $Q / (\text{panjang} \times \text{tinggi})$
 = 0,00039 m/s

syarat desain V_h partikel > $V_h Q_{\text{peak}}$ maka partikel tidak mengalami resuspensi kembali

$$T_d = \text{Volume} / Q$$

$$= 6 \text{ m}^3 / (78,47 \text{ m}^3/\text{hari})$$

$$= 1,8 \text{ jam (kriteria 1-2 jam)}$$

Sehingga, berdasarkan perhitungan bahwa nilai kontrol Nre dan kecepatan pengendapan sesuai dengan kriteria desain, maka kondisi satu dapat diterapkan.

Kondisi 2

Kondisi dua menggambarkan aliran air limbah yang mengalir melalui zona inlet masuk ke bak pengendap. Pada kondisi eksisting, kondisi 2 tertutup tinggi beton. Modifikasi desain pada kondisi 2 dilakukan dengan memotong 1 m tinggi beton pada kondisi eksisting yang bertujuan untuk memudahkan aliran air limbah dari zona inlet masuk menuju bak pengendap sehingga memudahkan proses pengendapan di zona pengendap yang dilakukan dengan bantuan tube settler. Pada kondisi 2 dihitung kondisi aliran dan kecepatan pengendapan yang bertujuan untuk mengetahui kecepatan penggerusan. Perhitungan kondisi 2 adalah sebagai berikut:

$$\text{panjang} = 2,9 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 2,6 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 1 \text{ m}$$

Kontrol Bilangan Reynold (Nre)

$$\begin{aligned}
 V_h &= Q / (\text{panjang} \times \text{tinggi}) \\
 &= (39,24 \text{ m}^3/\text{hari} / 86400) / (2,9 \times 1) \\
 &= (0,00045 \text{ m}^3/\text{s}) / (2,9 \text{ m}^2) \\
 &= 0,00015 \text{ m/s} \\
 R &= (\text{tinggi} \times \text{lebar}) / (\text{lebar} + (2 \times \text{tinggi})) \\
 &= (1 \times 2,6) / (2,6 + (2 \times 1)) \\
 &= 0,6 \text{ m} \\
 N_{re} &= (V_h \times R) / \text{viskositas suhu rata-rata } 26^\circ\text{C} \\
 &= (0,00015 \times 0,6) / (8,774 \times 10^{-7}) \\
 &= \mathbf{102,5 < 500 \text{ aliran laminar (Huisman, 1977)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan pengendapan} \\
 V_s &= Q / A_{\text{surface}} \\
 &= 0,00045 \text{ m}^3/\text{s} / (2,6 \times 1) \text{ m} \\
 &= 0,00017 \text{ m/s} \\
 V_p &= 0,186 \text{ m/s} \\
 \text{Syarat desain } V_p > V_s &= 0,186 \text{ m/s} > 0,00017 \text{ m/s} \text{ maka partikel dapat mengendap}
 \end{aligned}$$

Kecepatan Penggerusan

$$\begin{aligned}
 V_h \text{ partikel} &= \sqrt{\frac{8 \times k \times (S_g - 1) \times g \times D}{f}} \\
 &= \sqrt{\frac{8 \times 0,05 \times (1,3 - 1) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,00}{0,02}} \\
 &= 0,24 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_h \text{ saat kondisi } Q_{\text{peak}} &= Q / (\text{lebar} \times \text{tinggi}) \\
 &= 0,000175 \text{ m/s} \\
 \text{syarat desain } V_h \text{ partikel} &\text{ maka partikel tidak mengalami resuspensi kembali} \\
 > V_h Q_{\text{peak}}
 \end{aligned}$$

Sehingga, berdasarkan perhitungan bahwa nilai kontrol N_{re} dan kecepatan pengendapan sesuai dengan kriteria desain, maka kondisi dua dapat diterapkan.

Kondisi 3 = kondisi 4

Kondisi 3 dan 4 menggambarkan zona pengendap pada bak pengendap. Permasalahan kondisi 3 dan 4 eksisting adalah desain

dan peletakkan tube settler yang salah sehingga menyebabkan kurangnya ruang pengendapan partikel. Modifikasi desain pada kondisi 3 bertujuan untuk memudahkan proses pengendapan dengan memperbaiki desain tube settler. Pada kondisi 3 dan 4 dihitung kondisi aliran dan kecepatan pengendapan yang bertujuan untuk mengetahui proses pengendapan yang terjadi. Perhitungan kondisi 3 dan 4 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 2,9 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 2,6 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 3,3 \text{ m} \\
 N_{re} & \\
 V_h &= Q / (\text{lebar} \times \text{tinggi}) \\
 &= (39,24 \text{ m}^3/\text{hari} / 86400) / (2,6 \times 1,75) \\
 &= (0,00045 \text{ m}^3/\text{s}) / (4,55 \text{ m}^2) \\
 &= 0,000098 \text{ m/s} \\
 R &= (\text{tinggi} \times \text{lebar}) / (\text{lebar} + (2 \times \text{tinggi})) \\
 &= (1,75 \times 2,6) / (2,6 + (2 \times 1,75)) \\
 &= 0,74 \text{ m} \\
 N_{re} &= (V_h \times R) / \text{viskositas suhu rata-rata } 26^\circ\text{C} \\
 &= (0,000098 \times 0,74) / (8,774 \times 10^{-7}) \\
 &= \mathbf{82,65 < 500 \text{ aliran laminar}} \\
 &\quad \text{(Huisman, 1977)}
 \end{aligned}$$

Kontrol froude number pada kondisi 3 diperlukan untuk mengetahui potensi terjadinya aliran pendek pada zona pengendapan. Dikarenakan adanya aliran pendek dapat mengganggu proses pengendapan. Kecepatan aliran air yang diharapkan pada zona pengendapan adalah kondisi aliran subkritis dimana gaya inersia lebih kecil dari gaya gravitasi sehingga tidak mengganggu proses pengendapan.

$$\begin{aligned}
 N_{fr} &= (V_h^2 / (g \times R)) \\
 &= (0,000098 \text{ m/s})^2 / (9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,74) \\
 \text{Kondisi ideal} &> 10^{-5} \quad = 1,32 \times 10^{-9} < 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Hasil dari froude number menunjukkan bahwa terjadi aliran pendek pada zona pengendapan. Sehingga diperlukan tube settler pada zona pengendapan untuk mencegah adanya potensi aliran pendek.

Nfr ketika terdapat tube settler

Perencanaan ulang tube settler

- Diameter tube : 4 cm
- Kemiringan tube : 60° menghasilkan %efisiensi sebesar 93%
- Grafik Huisman (1977) pada efisiensi pengendapan sebesar 93% diperoleh So sebesar $0,25 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

% removal tube settler = 93% maka sesuai dengan grafik rasio removal diperoleh nilai $So = 0,25 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

$$So = \frac{\text{diameter tube}}{h \cos \alpha + (\text{diameter} \times \cos^2 \alpha)} \times \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{0,05 \text{ m}}{1 \cos 60^\circ + (0,05 \times \cos^2 60^\circ)} \times \frac{Q}{A}$$

$$= 0,078 \frac{Q}{A}$$

$$A = 0,078 \times \frac{0,00045 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \times 10^{-3} \text{ m/s}}$$

$$= 0,14 \text{ m}^2$$

$$Vo = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{0,00045 \text{ m}^3/\text{s}}{0,14 \times \sin 60^\circ}$$

$$= \frac{0,00045 \text{ m}^3/\text{s}}{0,14 \times 0,86}$$

$$= 0,004 \text{ m/s}$$

$$R = \frac{0,04^2}{0,004^2}$$

$$= \frac{4 \times 0,04}{0,01 \text{ m}}$$

$$Fr = \frac{(0,004 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,01 \text{ m}}$$

$$= 1,63 \times 10^{-4} > 10^{-5}$$

Sehingga nilai froude number telah memenuhi kriteria desain.

Kecepatan pengendapan

$$Vs = \frac{Q}{A_{\text{surface}}}$$

$$= \frac{0,00045 \text{ m}^3/\text{s}}{(2,9 \times 2,6) \text{ m}^2}$$

$$= 0,00006 \text{ m/s}$$

$$Vp = 0,186 \text{ m/s}$$

Syarat desain $Vp > Vs$ = $0,186 \text{ m/s} > 0,00006 \text{ m/s}$ maka partikel dapat mengendap

Kecepatan penggerusan

Vh partikel

$$= \sqrt{\frac{8 \times k \times (S_g - 1) \times g \times D}{f}}$$
$$= \sqrt{\frac{8 \times 0,05 \times (1,3 - 1) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,00}{0,02}}$$
$$= 0,24 \text{ m/s}$$

Vh saat kondisi Q_{peak}

$$= Q / (\text{lebar} \times \text{tinggi})$$
$$= 0,000052 \text{ m/s}$$

syarat desain Vh partikel

maka partikel tidak mengalami resuspensi kembali

$> Vh Q_{\text{peak}}$

Td tanpa tube settler

$$= \text{Volume} / \text{Debit}$$
$$= 24,8 \text{ m}^3 / 39,24 \text{ m}^3/\text{hari}$$
$$= 0,63 \text{ hari}$$
$$= 15 \text{ jam tidak memenuhi kriteria desain yaitu 1 -2 jam}$$

Td dengan tube settler

diameter tube

$$= 0,04 \text{ m}$$

tinggi tube

$$= 1 \text{ m}$$

volume tube settler total

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t$$
$$= 0,25 \times 3,14 \times 0,04^2 \times 650 \text{ tube settler yang dibutuhkan}$$
$$= 0,82 \text{ m}^3$$

Td

$$= \text{Volume} / \text{Debit}$$
$$= 0,82 \text{ m}^3 / 39,24 \text{ m}^3/\text{hari}$$
$$= 0,02 \text{ hari}$$
$$= 1 \text{ jam kriteria desain (1-2 jam)}$$

Sehingga berdasarkan hasil perhitungan bahwa penerapan tube settler berpengaruh terhadap kontrol froude number dan waktu detensi pada zona pengendapan.

Perbandingan bak pengendap pada kondisi eksisting dan modifikasi desain ditunjukkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Perbandingan antara kondisi eksisting dengan modifikasi desain bak pengendap

Uraian	Kondisi Eksisting	Modifikasi Desain	Fungsi
Kondisi 1	Tinggi = 3,3 m	Tinggi = 2,3 m	Sebagai zona inlet bak pengendap
	Tidak terdapat pipa influen pengendap	Direncanakan pipa influen pengendap PVC AW 75 mm atau 2 ½"	
Kondisi 2	Tinggi = 3,3 m	Pemotongan tinggi beton 1 m	Memudahkan aliran air dari zona inlet menuju zona pengendapan
Kondisi 3 dan 4	• Kurangnya ruang pengendapan • Desain tube settler 30°, panjang tube 4 m	• Memperluas ruang pengendapan • Desain tube settler 60° panjang tube 1 m	Memudahkan proses pengendapan dengan memperbaiki desain tube settler
Slope (kemiringan)	Tidak terdapat slope / kemiringan	Direncanakan slope 2%	Memudahkan partikel yang mengendap memasuki ruang lumpur

2. Lumpur Bak Pengendap

Dimensi ruang lumpur:

Panjang

= 1 m

Lebar

= 2,6 m

Kedalaman

= 0,8 m

Volume

= 2,1 m³

a. Perhitungan produksi lumpur

Perhitungan lumpur yang dihasilkan dari bak pengendap adalah sebagai berikut:

Massa TSS removal = 3,6 kg/hari (perhitungan mass balance)

$$\frac{1}{Sg \text{ lumpur}} = \frac{\% \text{ solid}}{Sg \text{ solid}} + \frac{\% \text{ air}}{Sg \text{ air}}$$

$$\frac{1}{Sg \text{ lumpur}} = \frac{6\%}{1,25} + \frac{94\%}{1}$$

$$= 1,012$$

$$\text{Debit lumpur} = \frac{3,6 \text{ kg/hari}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,012}$$

$$= 0,06 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Debit lumpur resirkulasi} = 30\% \times 0,06 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,018 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Debit lumpur yang dibuang} = 70\% \times 0,06 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,042 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Pengurasan lumpur direncanakan dilakukan secara kontinyu.

b. Direncanakan terdapat 1 pipa penguras lumpur

$$\text{Debit lumpur total} = 0,06 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Menurut Metcalf dan Eddy (1991) bahwa pipa lumpur minimal berukuran 100 mm dan kurang dari 200 mm dengan kecepatan pipa antara 1,5 m/s hingga 1,8 m/s.

$$D \text{ pipa pasaran} = 140 \text{ mm}$$

$$= 5''$$

$$A \text{ pipa pasaran} = 0,015 \text{ m}^2$$

c. Pipa resirkulasi lumpur menuju bak aerasi

$$\text{Debit lumpur resirkulasi} = 0,018 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 2,083 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

Menurut Metcalf dan Eddy (1991) bahwa pipa lumpur minimal berukuran 100 mm dan kurang dari 200 mm dengan kecepatan pipa antara 1,5 m/s hingga 1,8 m/s.

D pipa pasaran = 140 mm

= 5"

A pipa pasaran = 0,015 m²

d. Pipa pembuangan lumpur menuju sludge drying bed

Debit lumpur yang dibuang = 0,042 m³/hari

Menurut Metcalf dan Eddy (1991) bahwa pipa lumpur minimal berukuran 100 mm dan kurang dari 200 mm dengan kecepatan pipa antara 1,5 m/s hingga 1,8 m/s.

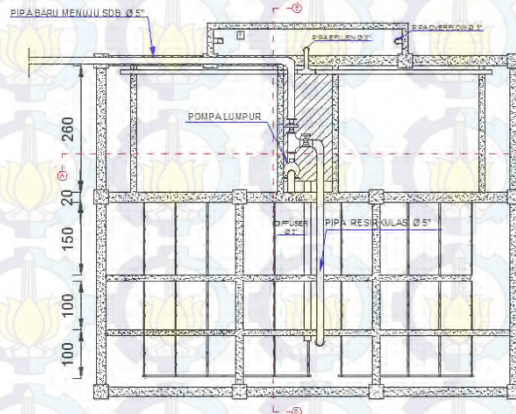
D pipa pasaran = 140 mm

= 5"

A pipa pasaran = 0,015 m²

3. Pompa lumpur

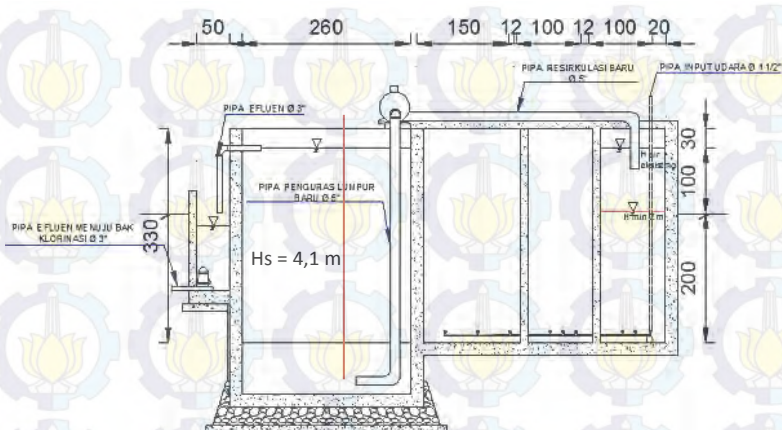
Perencanaan letak pompa lumpur



Gambar 5.17 Rencana Letak Pompa Lumpur

- Jenis pompa yang digunakan adalah jenis sentrifugal
- Perencanaan letak pompa lumpur terletak pada bagian atas inlet bak pengendap dengan bagian suction merupakan pipa penguras lumpur dan bagian discharge merupakan pipa lumpur menuju *sludge drying bed*

Letak Pompa Lumpur Potongan B-B ditunjukkan pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Letak Pompa Lumpur Potongan B-B

Perhitungan spesifikasi pompa lumpur

- Head statis
merupakan selisih head antara muka air pada pipa discharge dengan muka air pada pipa suction. Diperoleh head statis sebesar 4,1 m.
- Headloss mayor
Adalah kehilangan tekanan yang disebabkan karena gesekan antara fluida dengan permukaan pipa, yang menyebabkan hambatan pada tekanan pompa.

$$HL \text{ mayor} = \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

Dimana :

- Q lumpur : 0,06 m³/hari
C : konstanta Hazen Willam PVC sebesar 140
L : panjang pipa
D : diameter pipa (140 mm)

$$\text{Headloss mayor} = 0,062 \text{ L}$$

$$L \text{ Pipa suction} = 4 \text{ m}$$

HL mayor	= HL mayor x L	
	= 0,25	m
L Pipa discharge	= 8	m
HL mayor	= HL mayor x L	
	= 0,49	m
Total HL mayor	= 0,75	m

c. HL minor

Adalah kehilangan tekanan yang disebabkan karena aksesoris pada pipa seperti gate valve, belokan pada pipa.

HL minor	$= k \frac{v^2}{2 \times g}$	
	= 0,13	m
Aksesoris : entrance k=0,5	= HL minor x k	
	= 0,065	
6 elbow 90 k=0,3	= HL minor x k	
	= 0,235	
1 check valve k=0,25	= HL minor x k	
	= 0,033	
1 gate valve k=0,19	= HL minor x k	
	= 0,025	
Jumlah	= 0,358 m	

d. H pompa

Adalah kemampuan tekanan maksimum pada titik kerja pompa sehingga pompa tersebut mampu mengalirkan air/fluida dari satu titik ke titik yang lain.

Head pompa	= Head statis + HL mayor total + HL
minor total + Safety faktor head	
	= 4,1 m + 0,75 m + 0,36 m + 1,2 m
	= 6,4 m

e. Daya pompa

Daya hidraulik pompa adalah daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan zat cair.

$$P = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 5,2 \text{ m}}{75} \times 746$$

$$W = 3.103 \text{ W} \\ = 3,1 \text{ KW}$$

Jika efisiensi pompa yang diinginkan 70% maka :

$$\text{Bhp} = \frac{\text{Whp}}{\% \text{efisiensi}} \\ = \frac{3,1}{0,7} \\ = 4,4 \text{ KW}$$

- f. Spesifikasi Pompa Lumpur
 Pompa = Nainater Slurry
 Ukuran pipa = 100 mm – 200 mm
 Head = hingga 15 m
 Kapasitas = 1 m³/jam – 3 m³/jam



Gambar 5.19 Pompa Lumpur

4. Tube Settler
 Direncanakan ulang dengan spesifikasi sebagai berikut:

Sesuai SNI 6773-2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air

- Jika Kapasitas IPA 1-10 L/detik maka diameter tube settler adalah 4 cm
- Lebar tube disesuaikan dengan lebar bak pengendap

Kemiringan = 60°

Diameter = 40 mm

Tebal = 1 mm

Volume modul 1 = $1,2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$

= $1,8 \text{ m}^3$

Volume modul 2 = $1,2 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$

= $1,32 \text{ m}^3$

Jumlah modul 1 = $\frac{\text{Volume bak pengendap}}{\text{volume modul}}$

= $\frac{25 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3}$

= 14

Jumlah modul 1 = $\frac{\text{Volume bak pengendap}}{\text{volume modul}}$

= $\frac{25 \text{ m}^3}{1,32 \text{ m}^3}$

= 19

Jumlah modul 2 = $\frac{\text{Volume bak pengendap}}{\text{volume modul}}$

= $\frac{25 \text{ m}^3}{1,32 \text{ m}^3}$

= 19

Modul 1 sesuai spesifikasi terdapat 11 tube settler sehingga terdapat 154 tube settler dan modul 2 terdapat 9 tube settler sehingga terdapat 171 tube settler sehingga total 325 tube settler pada satu bak pengendap. Total untuk 2 bak pengendap membutuhkan 650 tube settler

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Universitas Wijaya Kusuma (2001), pengendapan optimal pada tube settler terdapat pada kemiringan tube settler 60° dengan prosentase penyisihan sebesar 93%.

Jika prosentase penyisihan sebesar 93% maka, partikel yang mengendap sebesar:

TSSc influen bak pengendap = $0,153 \text{ kg/m}^3$

% removal tube settler = 93%

TSSc teremoval = $0,142 \text{ kg/m}^3$

TSSc efluen = $0,011 \text{ kg/m}^3$

= 11 mg/l (baku mutu sebesar 30 mg/L) sudah memenuhi baku mutu.

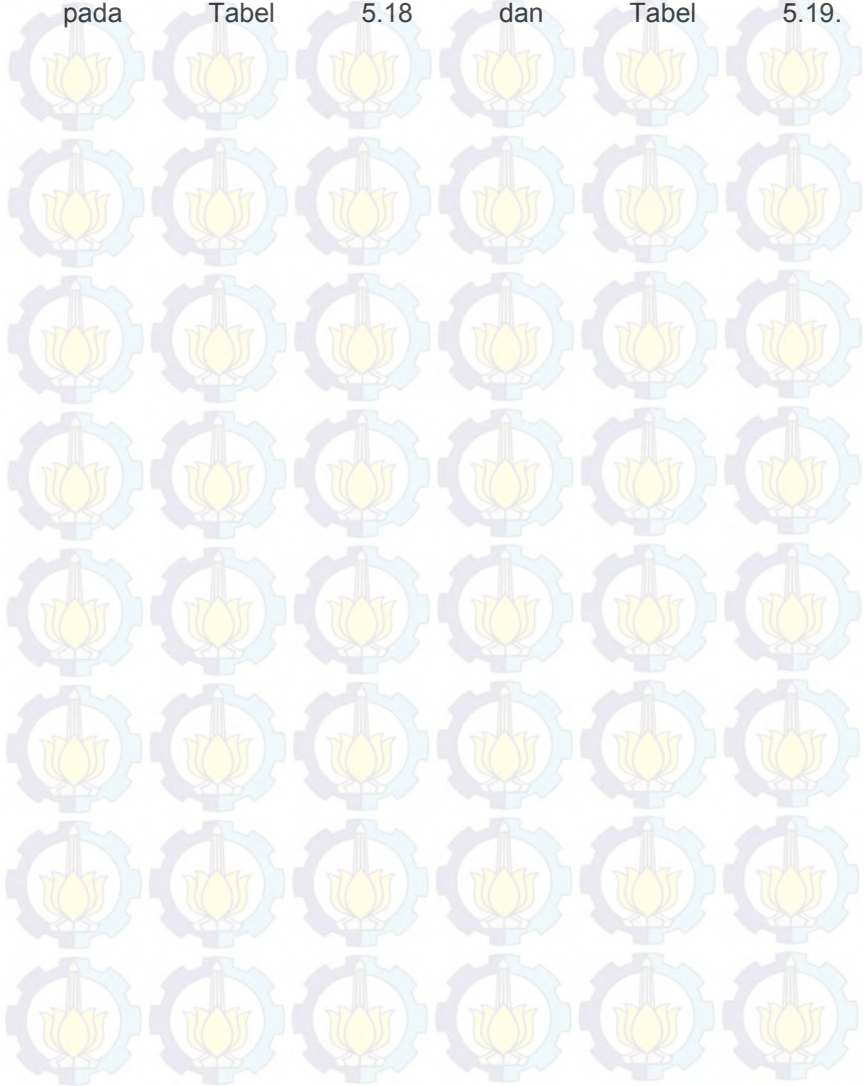
$$\begin{aligned} \text{Volume lumpur} &= \frac{\text{Massa TSS removal } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}} \right)}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \% \text{solid} \times S_g \text{ lumpur}} \\ &= \frac{11,14 \text{ kg/hari}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 6\% \times 1,012} \\ &= 0,183 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Ringkasan review desain sesuai dengan kriteria desain ditunjukkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Review Desain Bak Pengendap sesuai dengan Kriteria Desain

Uraian	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan	Rekomendasi
Tinggi	3,3 m	3-6 m	Sesuai kd	
Td	24 jam	1-2 jam	Tidak sesuai kd	Memperbaiki desain tube settler yang berfungsi untuk mempercepat waktu pengendapan dan membantu proses pengendapan dengan cara mengganti desain tube settler eksisting dengan desain tube settler sesuai dengan SNI 6773-2008 dengan spesifikasi: Jumlah modul : 33 modul dengan tube settler : 650 Kemiringan : 60° Diameter : 4 cm Tinggi tube : 1 m
Overflow rate/surface loading rate	3,64 m ³ /m ² .hari	24-32 m ³ /m ² .hari	Tidak sesuai kd	
Solid loading rate	0,55 kg/m ² .hari	164 kg/m ² .hari	Tidak sesuai kd	

Tabel hasil perhitungan modifikasi bak pengendap dan kontrol zona pengendap terkait penggunaan tube settler ditunjukkan pada Tabel 5.18 dan Tabel 5.19.



Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Modifikasi Desain Bak Pengendap

Kondisi	Nre		Kecepatan pengendapan		v scouring		Waktu		Keterangan
	Hasil	Kriteria Desain	Hasil	Kriteria Desain	Hasil	Kriteria Desain	Td	Kriteria Desain Td	
Kondisi 1	369	< 500	$V_p = 0,18$ m/s	$V_p > V_s$	$V_{hp} = 0,24$ m/s	$V_{hp} > V_{h_{peak}}$	1,8 jam	1-2 jam	• Partikel mengendap • Partikel mengalami resuspensi • Kondisi 1: zona inlet dimana merupakan zona masuknya air limbah dari bak aerasi
			$V_s = 0,00015$ m/s		$V_{hp_{peak}} = 0,00039$ m/s				
Kondisi 2	102,5	< 500	$V_p = 0,18$ m/s	$V_p > V_s$	$V_{hp} = 0,24$ m/s	$V_{hp} > V_{h_{peak}}$	-	1-2 jam	• Partikel mengendap • Partikel mengalami resuspensi • Kondisi 2 hanya sebagai zona untuk masuknya air limbah ke zona
			$V_s = 0,00017$ m/s		$V_{hp_{peak}} = 0,00018$ m/s				

Tabel 5.18 Hasil Perhitungan Modifikasi Desain Bak Pengendap

Kondisi	Nre		Kecepatan pengendapan		v scouring		Waktu		Keterangan
	Hasil	Kriteria Desain	Hasil	Kriteria Desain	Hasil	Kriteria Desain	Td	Kriteria Desain Td	
			$V_p = 0,18$ m/s		$V_{hp} = 0,24$ m/s				• Partikel dapat mengendap • Partikel tidak mengalami resuspensi • Kondisi merupakan zona pengendapan • Adanya tube settler dapat mempersingkat waktu detensi air limbah di zona pengendap yang selama 24 jam dengan adanya tube settler menjadi 1 jam
Kondisi 3 = 4	82,65	< 500	$V_s = 0,00006$ m/s	$V_p > V_s$	$V_{h_{peak}} = 0,00005$ m/s	$V_{hp} > V_{h_{peak}}$	1 jam	1-2 jam	

Uraian		Bilangan Froude (Nfr)			Waktu Detensi (Td)		Keterangan	
Spek tube settler		Tanpa Tube Settler	Dengan Tube Settler	Kriteria Desain	Tanpa Tube Settler	Dengan Tube Settler		
Diameter	4 cm						• Bilangan froude dengan penggunaan tube settler telah memenuhi kriteria desain	
Tinggi	1 m							
Kemiringan	60°							
Jumlah	650	$1,32 \times 10^9$	$1,63 \times 10^5$	$>10^5$	15 jam	1 jam	1-2 jam	• Waktu detensi dengan penggunaan tube settler telah memenuhi kriteria desain

5.5.4 Review Desain Bak Klorinasi

a. Sistem Kerja Bak Klorinasi

- Larutan kaporit yang ditambahkan di Rumah Sakit X berupa Natrium Hypochloride (NaOCl) dengan kandungan klor aktif 12% dengan karakteristik yang ditunjukkan pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Karakteristik Natrium Hypochloride (NaOCl)

Karakteristik	Natrium Hypochloride
Rumus Kimia	NaOCl
Bentuk	Larutan
Persen di pasaran	12%-15%
Kestabilan	Cairan kuning terang, tidak stabil
Toksisitas terhadap mikroorganisme	tinggi
Penghilangan bau	sedang

(Qasim, 2000)

- 1 pompa dosing yang digunakan dengan spesifikasi :
 - Dosing rate maksimum 3,5 liter/jam
 - Power supply 11 watt

b. Kriteria desain

T_d = 15 - 45 menit
 V_h = 2-4,5 m/menit

• Review Bangunan Bak Klorinasi

Diketahui :

Dimensi bak klorinasi

Panjang = 2,65 m

Lebar = 0,66 m

Tinggi = 0,8 m

Volume = $1,4 \text{ m}^3$

T_d = $1,4 \text{ m}^3 / 78,47 \text{ (m}^3/\text{hari)}$
= 0,0178 hari

desain)
 V_h = panjang/ td
 = 2,65 m /25,7 menit
 = 0,10 m/menit (tidak memenuhi kriteria desain)

- **Review Proses Bak Klorinasi**

Dosis Klor untuk Desinfeksi ditunjukkan pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Dosis Klor untuk Desinfeksi

Tujuan	Dosis Klor (mg/L)	Waktu Kontak (menit)	Rentang pH
Klor tersedia gabung	1-5	a	7-8
Klor tersedia bebas	0,5-4	a	7-8
Reaksi BPC	6-8 mg/LNH ₃	30	6,5-8,5
Pembentukan monokloramin	3-4 mg/L NH ₃	20	7-8
Pembentukan klor tersedia bebas	6-8 mg/L NH ₃	20	6,5-8,5

(Qasim, 2000)

Sodium Hypochloride (NaOCl) tersedia dalam bentuk larutan yang biasanya mengandung 12-17% Cl aktif (Metcalf dan Eddy, 2014).

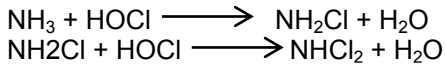
Persamaan reaksi:



Reaksi di air:



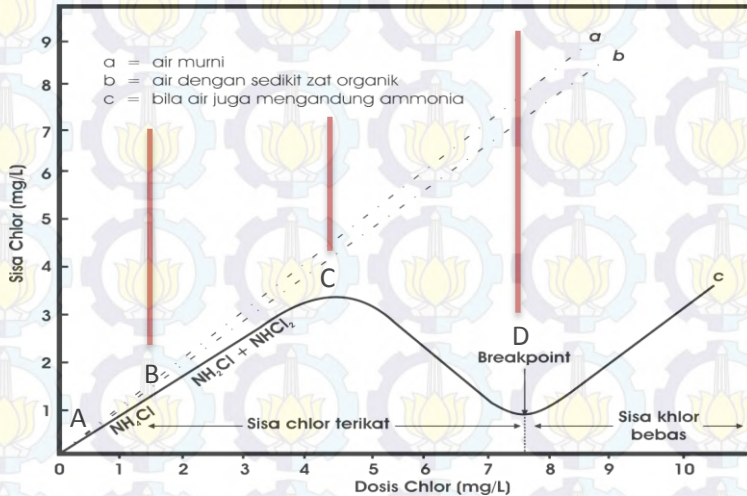
Reaksi dalam air menghasilkan asam hipoklorit yang masih bersifat desinfektan dan bersifat sebagai oksidator kuat. Ketika efluen air limbah yang telah diolah masih mengandung nitrogen dalam bentuk ammonia, ammonium dan nitrogen organik, maka asam hipoklorit akan bereaksi dengan ammonia membentuk kloramin dalam air dengan reaksi sebagai berikut:



Ketiga reaksi tersebut tergantung pada pH, suhu dan waktu kontak.

Breakpoint Chlorination

Adalah titik dimana kandungan Cl cukup dan efektif untuk menjadi desinfektan dan dapat mengoksidasi ammonia dalam air. Gambar kurva BPC ditunjukkan pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Grafik Pembentukan BPC

Keterangan

Garis A-B : Klorin yang dibubuhkan bereaksi cepat dengan semua zat pereduksi dalam air membentuk Cl^- yang tidak bersifat desinfektan.

Garis B-C : Klorin bereaksi dengan ammonia di air membentuk monokloramin dan dikloramin yang bersifat desinfektan. Garis ini menaikkan kadar klorin residual.

Garis C-D: Penambahan klorin mengurangi kadar klorin residual akibat terjadi oksidasi membentuk trikloramin.

Titik D : Titik dimana ammonia telah habis teroksidasi sehingga penambahan klorin menaikkan kadar klorin residual.

Perhitungan Sodium Hypochloride (NaOCl)

Diketahui:

Berat jenis NaOCl	$= 1,11 \text{ g/cm}^3$ $= 1.110 \text{ kg/m}^3$
Kadar OCl di pasaran	$= 12\%$
Konsentrasi NH_3 di bak klorinasi	$= 2,01 \text{ mg/L}$

Perhitungan:

Besarnya kebutuhan klor untuk mencapai BPC	$= 7 \times (\text{mg/L } \text{NH}_3)$ $= 7 \times 2,01 \text{ mg/L}$ $= 14,1 \text{ mg/L}$ $= 0,018 \text{ mg/L}$
--	--

Sisa klor yang diinginkan dalam waktu kontak 10 menit

Kebutuhan Cl yang diperlukan:

Adalah banyaknya Cl yang harus dibubuhkan ke dalam air untuk proses desinfeksi.

Perhitungan:

Kebutuhan Cl mencapai BPC + sisa Cl yang diinginkan
 $14,1 \text{ mg/L} + 0,018 \text{ mg/L} = 14,118 \text{ mg/L}$

Kebutuhan klor	$= \text{Dosis klor} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times 0,001$ $= 14,118 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 78,47 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,001$ $= 1,107 \text{ kg/hari}$
----------------	--

% Cl aktual dalam NaOCl	$= 47\%$
-------------------------	----------

Kebutuhan NaOCl murni	$= \frac{1,107 \text{ kg/hari}}{47\%}$ $= 2,35 \text{ kg/hari}$
-----------------------	--

Kadar NaOCl di pasaran	$= 12\%$ $= 120.000 \text{ mg/L}$ $= 120 \text{ kg/m}^3$
------------------------	--

Larutan NaOCl pasaran

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Kebutuhan NaOCl}}{\text{kadar NaOCl pasaran}} \\ &= \frac{2,35 \text{ kg/hari}}{120 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0,0195 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,225 \text{ ml/s} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dibutuhkan 0,225 ml/s larutan NaOCl di pasaran.

Spesifikasi Dosing Pump

- Dosing rate pompa sebesar 3,5 liter/jam = 0,972 ml/s
- Power supply 11 watt

Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa volume larutan NaOCl di pasaran lebih kecil dari dosing rate pompa yaitu 0,225 ml/s < 0,972 ml/s sehingga perlu dilakukan pengenceran agar larutan NaOCl dapat mengalir melalui pompa.

$$\begin{aligned} \text{Pengenceran yang diperlukan} &= \frac{\text{Kapasitas dosing pump}}{\text{Kebutuhan Larutan NaOCl}} \\ &= \frac{0,972 \text{ ml/s}}{0,225 \text{ ml/s}} \\ &= 4,32 \text{ kali pengenceran} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume NaOCl} &= 0,225 \text{ ml/s} \\ &= 0,01944 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume pelarut (air pengencer)} &= \text{Kebutuhan Larutan NaOCl} \times \\ \text{pengenceran} &= 0,01944 \text{ m}^3/\text{hari} \times 4,32 \\ &= 0,083 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan NaOCl} &= \text{volume NaOCl} && + \text{volume pelarut} \\ &= 0,01944 \text{ m}^3/\text{hari} && + 0,083 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,102 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 102 \text{ L/hari} \\ &= 70,83 \text{ cc/menit} \\ &= 1,2 \text{ cc/s} \end{aligned}$$

Bak pengaduk

Jumlah bak = 1 buah

Kedalaman bak = 0,8 m
 P = L = 0,5 m
 Freeboard = 0,1 m
 Volume = 0,2 m³
 Td = V / Q
 = 0,2 m³ / 0,102 m³/hari
 = 1 hari

Direncanakan terdapat pengaduk mekanis menggunakan impeller tipe propeller 3 blades agar proses mixing larutan NaOCl tetap merata.



Gambar 5.21 Jenis Propeller 3 Blades

Nilai G untuk pengadukan cepat berkisar antara 300–1000/(detik) (Reynold dan Richards, 1996).

Direncanakan:

$$G = 300 /s$$

Daya yang dibutuhkan untuk pengadukan :

$$\begin{aligned}
 P &= G^2 \times \mu \times V \\
 &= 300^2 /s \times (0,8746 \times 10^{-3})(N.s)/m^2 \times 0,2 m^3 \\
 &= 16 N.m/s \\
 &= 16 W
 \end{aligned}$$

Waktu pengadukan direncanakan selama 1,5 menit maka G x waktu pengadukan menjadi 300/s x 90 s = 27.000 (kriteria 20.000-30.000)

Menghitung diameter impeller

$$D = \sqrt{\frac{P}{K_T \times n^3 \times \rho}}$$

Dimana:

K_T untuk propeller 3 blades = 0,32

n (20-150 rpm) = 100 rpm = 1,667 rps

ρ = $997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$D = \sqrt{\frac{16 W}{0,32 \times 1,667^3 \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0,10 \text{ m}$$

Diameter propeller minimal 15 cm maka, diameter yang digunakan adalah 15 cm

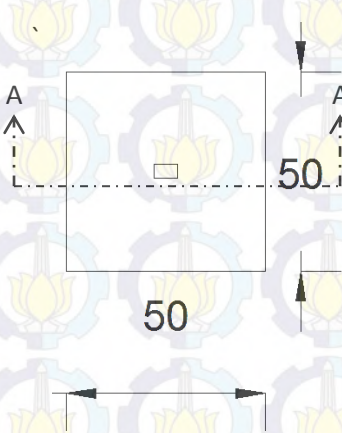
Cek rasio diameter impeller dengan lebar bak (D/Te)

$$\frac{D}{Te} = \frac{0,15}{0,3} = 0,5 \text{ (kriteria desain antara } 0,3 - 0,6)$$

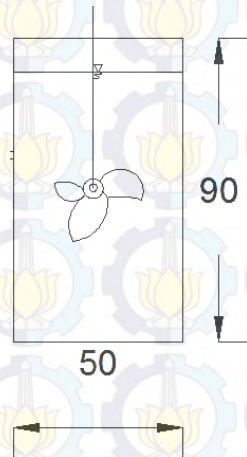
Cek bilangan reynolds = $\frac{D i^2 \times n \times \rho}{\mu}$

$$= \frac{0,15^2 \times 1,667 \text{ rps} \times 997}{0,8746 \times 10^{-3}}$$

$$= 42.757 > 10.000 \text{ maka aliran turbulen}$$



Gambar 5.22 Bak Pelarut



Gambar 5.23 Potongan A-A

Bak pembubuh

Direncanakan:

Jumlah	= 1 bak
Td bak mom	= 24 jam = 1 hari
Q larutan NaOCl	= $0,102 \text{ m}^3/\text{hari}$
Volume bak	= $0,102 \text{ m}^3$
h	= 0,8 m
freeboard	= 0,1 m
p : l	= 1:1
p = l	= 0,4 m

Terdapat pompa dosing yang berfungsi untuk mengalirkan larutan NaOCl menuju bak klorinasi.



- Dosing rate pompa 3,5 L/jam = 0,972 ml/s
- Power supply 11 watt

Gambar 5.24 Pompa Dosing

Pipa dosing

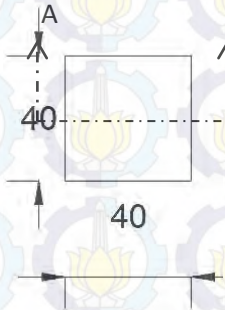
Diameter pipa	= 1"
	= 32 mm
Q	= $0,102 \text{ m}^3/\text{hari}$
	= $0,0000118 \text{ m}^3/\text{s}$

Direncanakan sistem pembubuhan larutan NaOCl melalui pipa PVC AW ukuran 1" yang dilubangi untuk pemeratakan larutan NaOCl sesuai dengan lebar bak klorinasi.

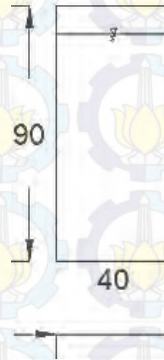
Rencana lubang pipa:

Lebar bak klorinasi	= 66 cm
Diameter lubang pipa	= 2 cm
Jarak antar lubang	= 9 cm
n lubang	= 7
Q tiap lubang	= $0,102 \text{ m}^3/\text{hari} : 7$
	= $0,015 \text{ m}^3/\text{hari}$

$$\begin{aligned}
 &= 15 \text{ L/hari} \\
 &= 10,4 \text{ cc/menit} \\
 &= 0,2 \text{ cc/s}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.25 Bak Pelarut



Gambar 5.26 Potongan A-A

Rangkuman hasil perhitungan proses penambahan NaOCl ditunjukkan pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Ringkasan Perhitungan penambahan NaOCl

Uraian	Hasil Analisis
Kebutuhan NaOCl murni	2,35 kg/hari
Larutan NaOCl di pasaran	0,225 ml/s
Spek. Pompa dosing	
Kapasitas dosing rate	0,972 ml/s
Pengenceran yang diperlukan	4,32 kali pengenceran
Larutan NaOCl yang dibutuhkan	102 L/hari

c. Rekomendasi

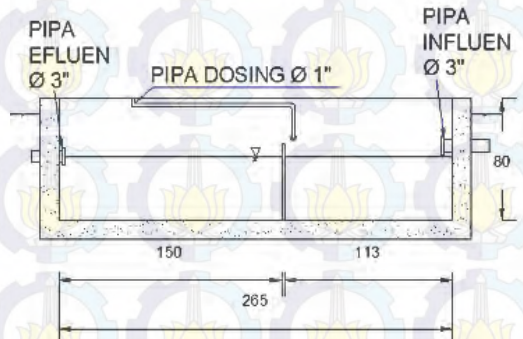
- Terjunan Hidrolis

Terjunan hidrolis berfungsi untuk membantu mengoptimalkan proses mixing (pencampuran antara larutan NaOCl yang ditambahkan dengan air limbah) dan mencegah aliran laminar

yang dapat menyebabkan terjadinya pengendapan pada bak klorinasi. Tujuan dari pengadukan hidrolis adalah untuk menghasilkan aliran

Volume bak

$$= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \\ = 2,7 \text{ m} \times 0,66 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \\ = 1,4 \text{ m}^3$$



Gambar 5.27 Bak Klorinasi Kondisi Eksisting

- Perhitungan Q yang melewati V notch

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{\text{Panjang bak sebelum v notch}}{\text{td bak sebelum v notch}} \\ &= \frac{1,13 \text{ m}}{406,5 \text{ detik}} \\ &= 0,00027 \text{ m/s} \\ R &= \frac{l \times t}{l + 2 \times t} \\ &= \frac{0,66 \times 0,5}{0,66 + 2 \times 0,5} \\ &= 0,198 \\ \text{Nre untuk mendapatkan Cd} &= \frac{V_h \times R}{\vartheta} \\ &= \frac{0,0027 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,198 \text{ m}}{8,86 \times 10^{-6} \text{ s/m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_d &= 60,3 \text{ (aliran laminar)} \\
 &= \frac{24}{N_{re}} \\
 &= \frac{24}{60,3} \\
 &= 0,4 \\
 Q \text{ melewati V notch} &= \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2gx} h^{\frac{5}{2}} \\
 &= \frac{8}{15} \times 0,4 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,2^{\frac{5}{2}}} \\
 &= 0,016 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Terjunan hidrolis

Nilai gradien kecepatan hidrolis diperlukan untuk mengetahui kecepatan pengadukan yang dibutuhkan agar proses mixing dapat berjalan optimal yaitu dengan membuat aliran air menjadi turbulen. Penentuan nilai gradien kecepatan ditunjukkan pada Tabel 5.23.

Tabel 5.23 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

Waktu Pengadukan (td, detik)	Gradien Kecepatan (1/detik)
20	1000
30	900
40	790
>50	700

(Reynold dan Richards, 1996)

Rumus Gradien Kecepatan

$$G = \sqrt{\frac{Q \times \rho \times g \times h}{\mu \times V}}$$

$$\text{Menghitung td bak klorinasi} = \frac{1,4 \text{ m}^3}{0,016 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$= 87,5 \text{ s (untuk G yang digunakan mengacu pada}$$

700/s)

Menghitung H terjunan

$$\begin{aligned} H &= \frac{G^2 \times \mu \times t_d \text{ bak setelah V notch}}{\rho \times g} \\ &= \frac{700^2 \times (0,8746 \times 10^{-3}) \text{ N.s/m}^2 \times \frac{0,495 \text{ m}^3}{0,016 \text{ m}^3/\text{s}}}{997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \text{ m/s}^2} \\ H &= 1,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek nilai G} &= \sqrt{\frac{0,016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1,35 \text{ m}}{(0,8746 \times 10^{-3}) \text{ N.} \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \times 0,495 \text{ m}^3}} \\ &= 709,2 / \text{s} \end{aligned}$$

Sehingga ketinggian yang diperlukan sebagai terjunan hidrolis adalah 1,35 m.

Letak pipa efluen disesuaikan pada saat Q minimum dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Volume bak min} &= Q_{\text{min}} \times t_d \\ &= 41,48 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,018 \text{ hari} \\ &= 0,74 \text{ m}^3 \\ H_{\text{min}} &= \frac{0,74 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^2} \\ &= 0,74 \text{ m} \end{aligned}$$

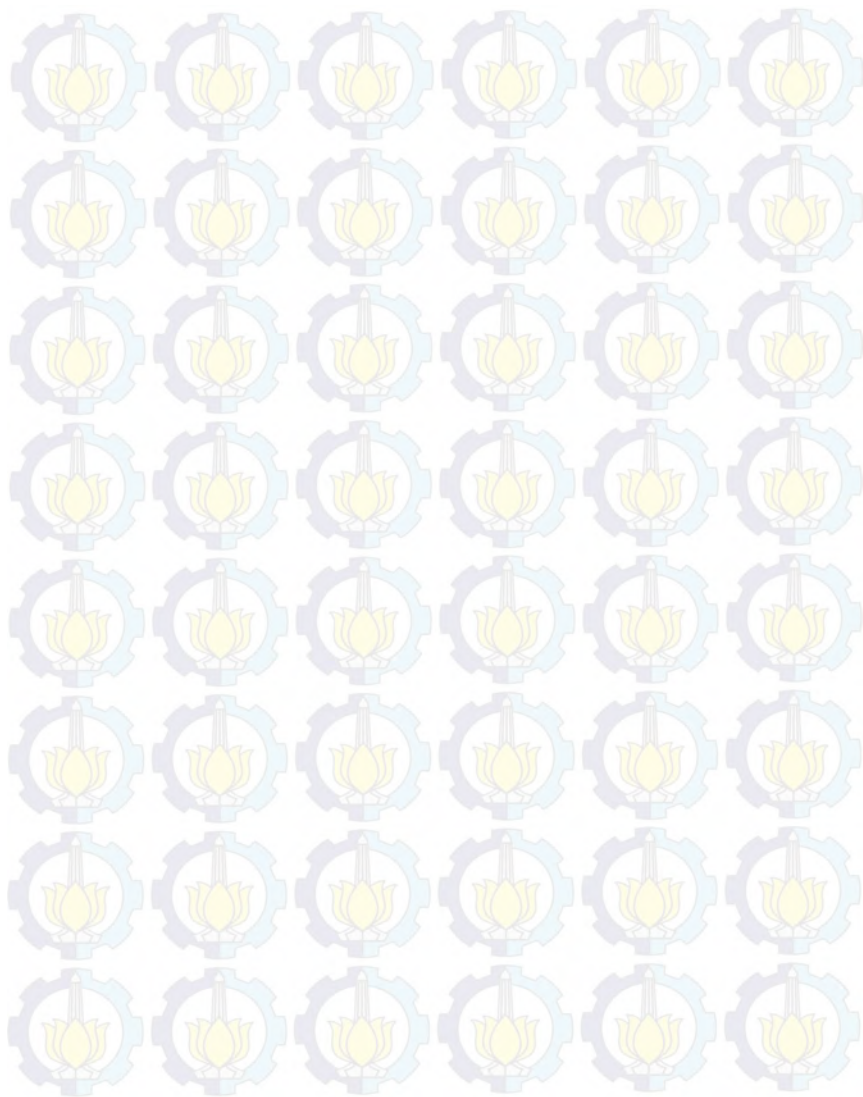
Ringkasan review desain bak klorinasi ditunjukkan pada Tabel 5.24.

Tabel 5.24 Review Desain Bak Klorinasi

Uraian	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan	Rekomendasi
--------	-------------------	-----------------	------------	-------------

Uraian	Kondisi eksisting	Kriteria desain	Keterangan	Rekomendasi
Td	25,7 menit	15-45 menit	Sesuai kd	
Vh	0,10 m/menit	2-4,5 m/menit	Tidak sesuai kd sehingga proses mixing antara larutan kaporit dan air limbah kurang homogen	Dibuat terjunan hdirolis dengan tinggi 2 m sehingga proses mixing dapat terjadi ketika aliran dalam kondisi turbulen

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 6 BOQ DAN RAB

Bill Of Quantity (BOQ) bertujuan untuk mengetahui jumlah bahan atau material yang dibutuhkan untuk membangun IPAL. Sedangkan rencana anggaran biaya dibuat berdasarkan BOQ untuk memperkirakan biaya yang dibutuhkan baik untuk pengadaan material maupun pembangunan fisik. Tujuan perhitungan dari BOQ dan RAB adalah untuk mengetahui biaya investasi yang diperlukan dalam pembangunan IPAL yang akan direncanakan. Dalam perhitungan BOQ dan RAB untuk perencanaan IPAL Rumah Sakit X diperlukan daftar harga satuan pokok kegiatan (HSPK), daftar harga pipa dan aksesoris yang dibutuhkan yang dilampirkan pada Lampiran D.

6.1 BOQ dan RAB Operasional

BOQ dan RAB operasional pada Rumah Sakit X dihitung berdasarkan kebutuhan listrik dan NaOCl yang dibutuhkan dalam kegiatan operasional IPAL Non Toksik Rumah Sakit X setiap bulan. Rekapitulasi BOQ dan RAB operasional ditunjukkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 BOQ dan RAB Operasional Tiap Bulan

Jenis material	jumlah	satuan	harga satuan (Rp)	Harga total (Rp)	Total biaya (Rp)
Operasional Listrik					
2 Pompa submersible	3000	Watt	Rp 1.109	Rp 4.789.584	
1 Pompa lumpur	2629	watt	Rp 1.109	Rp 2.098.636	
2 Blower	5000	Watt	Rp 1.109	Rp 7.982.640	
1 pompa dosing	11	watt	Rp 1.109	Rp 17.562	

Jenis material	jumlah	satuan	harga satuan (Rp)	Harga total (Rp)	Total biaya (Rp)
NaOCl	30	kg	Rp 5.000	Rp 150.000	Rp 15.038.422

Keterangan:

Operasional listrik IPAL Rumah Sakit X membutuhkan biaya operasional sebesar Rp 15.038.422,00.

6.2 BOQ dan RAB Aksesoris

BOQ dan RAB aksesoris pada Rumah Sakit X dihitung berdasarkan pada pipa, pompa dan tube settler yang dibutuhkan dan dirancang ulang pada unit IPAL yang membutuhkan tambahan dan review desain aksesoris. Rekapitulasi BOQ dan RAB aksesoris ditunjukkan pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2 BOQ dan RAB Aksesoris

Jenis material	jumlah	satuan	harga satuan (Rp)	Harga total (Rp)	Total biaya (Rp)
Pipa resirkulasi lumpur					
PVC AW 5" dengan panjang 4 m	1	batang	Rp 424.270	Rp 424.270	
Pipa lumpur ke SDB					
PVC AW 5" dengan panjang 8 m	2	batang	Rp 424.270	Rp 848.540	
Pipa penguras lumpur					
PVC AW 5" dengan panjang 4 m	1	batang	Rp 424.270	Rp 424.270	
Tee 5"	1	buah	Rp 64.766	Rp 64.766	
Gate valve	2	buah	Rp 500.000	Rp 1.000.000	
large elbow	3	buah	Rp 64.500	Rp 193.500	
Tube settler bahan PVC	33	modul	Rp 150.000	Rp 4.950.000	

Jenis material	jumlah	satuan	harga satuan (Rp)	Harga total (Rp)	Total biaya (Rp)
Surface aerator	1	unit	Rp 500.000	Rp 500.000	
Pompa lumpur sentrifugal Warman Horizontal series XU	2	unit	Rp 8.500.000	Rp 17.000.000	Rp 25.405.346

Keterangan:

Total biaya yang dibutuhkan untuk aksesoris IPAL sebesar Rp 23.455.346,00

6.3 BOQ dan RAB Konstruksi

BOQ dan RAB konstruksi terdiri dari konstruksi pada bak equalisasi dan konstruksi pada bak klorinasi yang disesuaikan dengan desain ulang yang direncanakan. BOQ dan RAB konstruksi terdiri dari bak equalisasi dan bak klorinasi yang direncanakan ulang.

6.3.1 Bak Equalisasi

BOQ dan RAB pada Bak Equalisasi mengacu pada HSPK Kota Surabaya yang terdiri dari pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah, pekerjaan beton dan finishing. Acuan berdasarkan HSPK Kota Surabaya terdapat pada Lampiran D.

BOQ dan RAB konstruksi pada bak equalisasi ditunjukkan pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3 BOQ dan RAB Konstruksi Bak Equalisasi

	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
a.	Pembongkaran Dinding Tembok dengan Pembersihan	7,5	m ²	Rp 105.000	Rp 787.500
b.	Pembuatan Bouwplank /Titik	4	Titik	Rp 102.990	Rp 411.960
c.	Pengukuran dan	5,5	m	Rp 96.450	Rp 530,475

	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Harga Total
	Pemasangan Patok				
II	PEKERJAAN TANAH				
a.	Penggalian Tanah	6	m ³	Rp 77.250	Rp 463.500
b.	Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian	6	m ³	Rp 15.750	Rp 94.500
III	PEKERJAAN BETON				
a.	Pekerjaan pondasi beton bertulang (150 kg besi + bekisting)	6	m ³	Rp 4.519.009	Rp 27.114.054
b.	Pekerjaan lantai kerja (K 100)	1	m ³	Rp 898.407	Rp 898.407
c.	Pekerjaan Beton K-225	6	m ³	Rp 1.153.439	Rp 6.920.635
IV	FINISHING				
a.	Pemasangan Pipa Air Kotor diameter 1 1/2'	5	m	Rp 21.481	Rp 107.403
b.	Pemasangan Pipa Air Kotor diameter 6'	4	m	Rp 31.461	Rp 125.844
c.	Pemasangan Pompa	1	unit	Rp 8.546.800	Rp 8.546.800
d.	Pemasangan Surface Aerator	1	unit	Rp 546.800	Rp 546.800
Total Biaya					Rp 46.547.878

Sehingga total biaya konstruksi bak equalisasi sebesar Rp 46.547.878

6.3.2 Bak Klorinasi

BOQ dan RAB pada bak klorinasi mengacu pada HSPK Kota Surabaya yang terdiri dari pekerjaan persiapan, pekerjaan

tanah, pekerjaan beton dan finishing. Acuan berdasarkan HSPK Kota Surabaya terdapat pada Lampiran D. BOQ dan RAB konstruksi pada bak klorinasi ditunjukkan pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4 BOQ dan RAB Konstruksi Bak Klorinasi

	Uraian Pekerjaan	Volume	Satu-an	Harga Satuan	Harga Total
I	PEKERJAAN PERSIAPAN				
a	Pembongkaran Dinding Tembok dengan Pembersihan	1,5	m ²	Rp 105.000	Rp 157.500
b	Pembuatan Bouwplank / Titik	4	Titik	Rp 28.820	Rp 115.280
c	Tukang	5,5	O.H	Rp 640.000	Rp 3.520.000
II	PEKERJAAN TANAH				
a.	Penggalian Tanah	1,04	m ³	Rp 362.250	Rp 376.740
b.	Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian	1,04	m ³	Rp 15.750	Rp 16.380
III	PEKERJAAN BETON				
a.	Pekerjaan pondasi beton bertulang (150 kg besi + bekisting)	1,74	O.H	Rp4.519.009	Rp 7.863.076
b.	Pekerjaan lantai kerja (K 100)	0,19	O.H	Rp 898.407	Rp 170.697
c.	Pekerjaan Beton K-225	1,74	O.H	Rp1.153.439	Rp 2.006.984
IV	FINISHING				
a.	Pemasangan Pipa Air Kotor diameter 3'	1,5	m	Rp 21.481	Rp 32.221
Total Biaya					Rp 14.258.878

Total biaya konstruksi bak equalisasi sebesar Rp 14.258.878. Sehingga, biaya konstruksi total (bak equalisasi dan bak klorinasi) adalah Rp 60.806.756.

6.4 Total Rekapitulasi BOQ dan RAB Rumah Sakit X

Total rekapitulasi BOQ dan RAB rumah sakit X terdiri dari BOQ dan RAB operasional, aksesoris alat dan konstruksio bangunan yang direncanakan ulang. Hasil total rekapitulasi BOQ dan RAB Rumah Sakit X ditunjukkan pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5 Total Rekapitulasi BOQ dan RAB Rumah Sakit X

No.	BOQ dan RAB	Harga Total
1	BOQ dan RAB Operasional	Rp 15.038.422
2	BOQ dan RAB Aksesoris	Rp 25.405.346
3	BOQ dan RAB Konstruksi	Rp 60.806.756
Total biaya		Rp 101.250.523

Total BOQ dan RAB Rumah Sakit X adalah sebesar Rp101.250.523,00

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

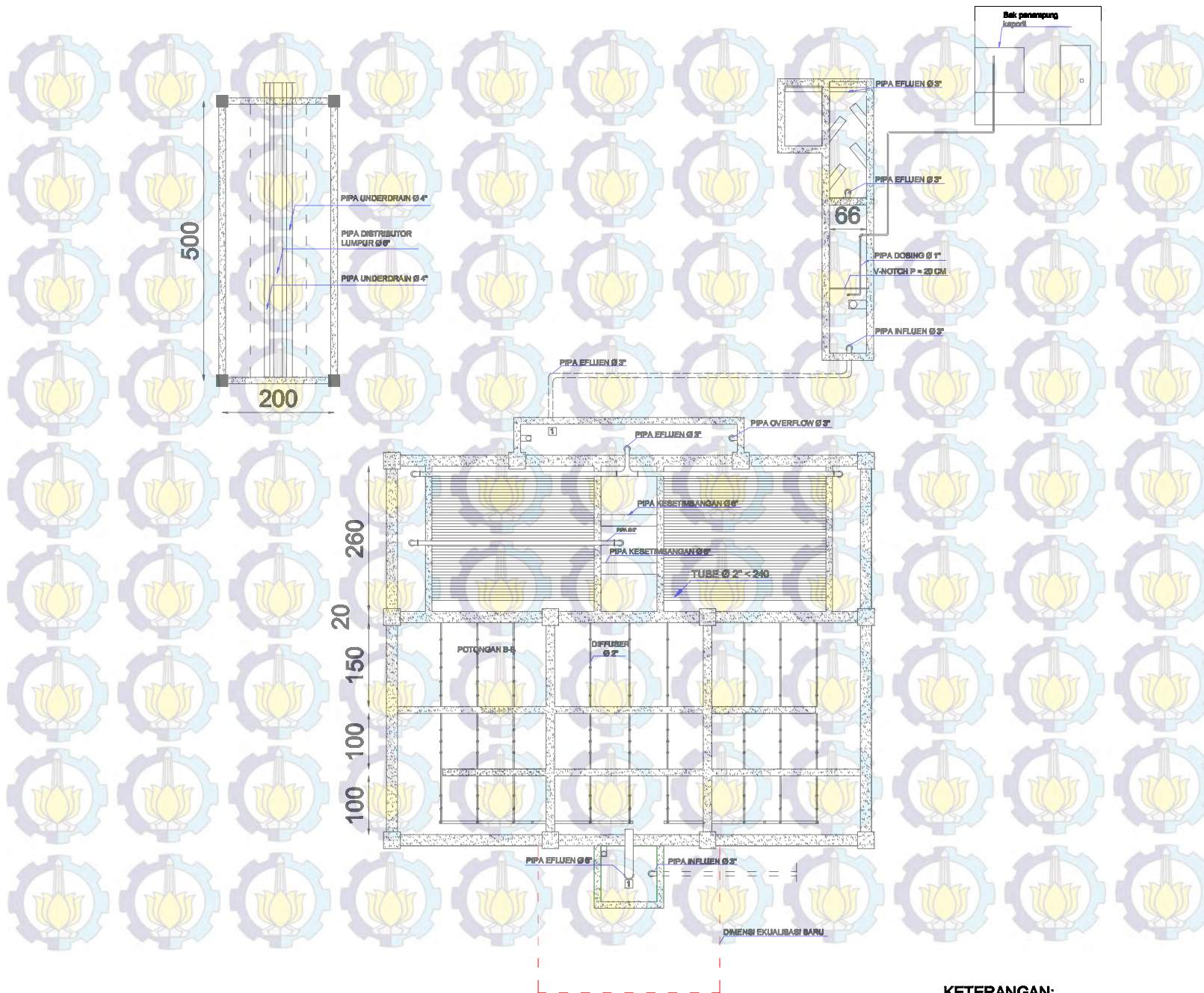
6.2 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis sampel dan review desain yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Efisiensi kinerja IPAL Rumah Sakit X dalam mendegradasi dan menurunkan kadar organik pada pengolahan lumpur aktif memiliki efisiensi rata-rata pada BOD 26,13%, COD 29%, PO₄ 13%, NH₃ 26% dan TSS 64% yang masih dibawah standar efisiensi literatur untuk bahan organik yaitu 85-90% dan TSS 50-65% namun besarnya efisiensi untuk TSS tersebut tidak dapat dijadikan acuan sehingga hasil evaluasi kinerja IPAL yang telah dilakukan menunjukkan bahwa IPAL Rumah Sakit X tidak efisien dan efektif dalam mengolah air limbah.
2. Hasil evaluasi keseluruhan pada sistem IPAL Rumah Sakit X berdasarkan pada efisiensi dan review desain menunjukkan bahwa:
 - Bak equalisasi membutuhkan perluasan dimensi, tidak terdapat mixer atau pengaduk untuk pemeratakan debit dan konsentrasi air limbah yang masuk
 - Bak aerasi tidak terdapat sistem resirkulasi lumpur dan tidak terdapat pipa efluen menuju bak pengendap
 - Bak pengendap membutuhkan modifikasi pada desain bangunan, aplikasi tube settler yang tidak sesuai dengan desain, tidak terdapat pipa lumpur, pompa lumpur dan pipa resirkulasi lumpur
 - Bak klorinasi masih berpotensi terjadi pengendapan dikarenakan aliran laminar dan proses pembubuhan NaOCl yang tidak merata
3. Total BOQ dan RAB yang dibutuhkan untuk perbaikan kinerja IPAL Rumah Sakit X adalah Rp101.250.523,00.

7.2 Saran

1. Berdasarkan rekomendasi diperlukan modifikasi desain dan penambahan sistem resirkulasi lumpur yang secara detail dapat digambarkan melalui rancangan DED (Detailed Engineering Design) yang selanjutnya perlu dilakukan secara detail dan menyeluruh
2. *Sludge drying bed* pada kondisi eksisting seharusnya dapat dimanfaatkan kembali sebagai unit pengolahan lumpur



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X
MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

LAYOUT IPAL EKSISTING

KONSULTAN PERENCANA

adyagraha

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH
1 : 100	1	12



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

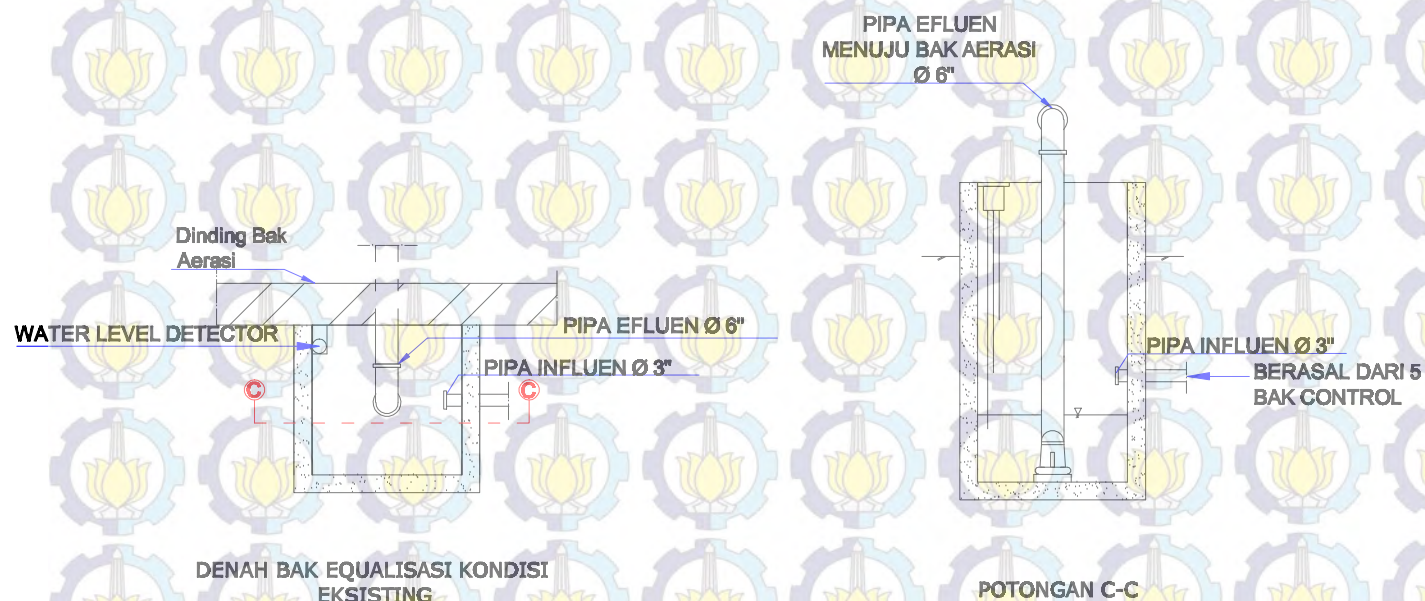
JUDUL GAMBAR

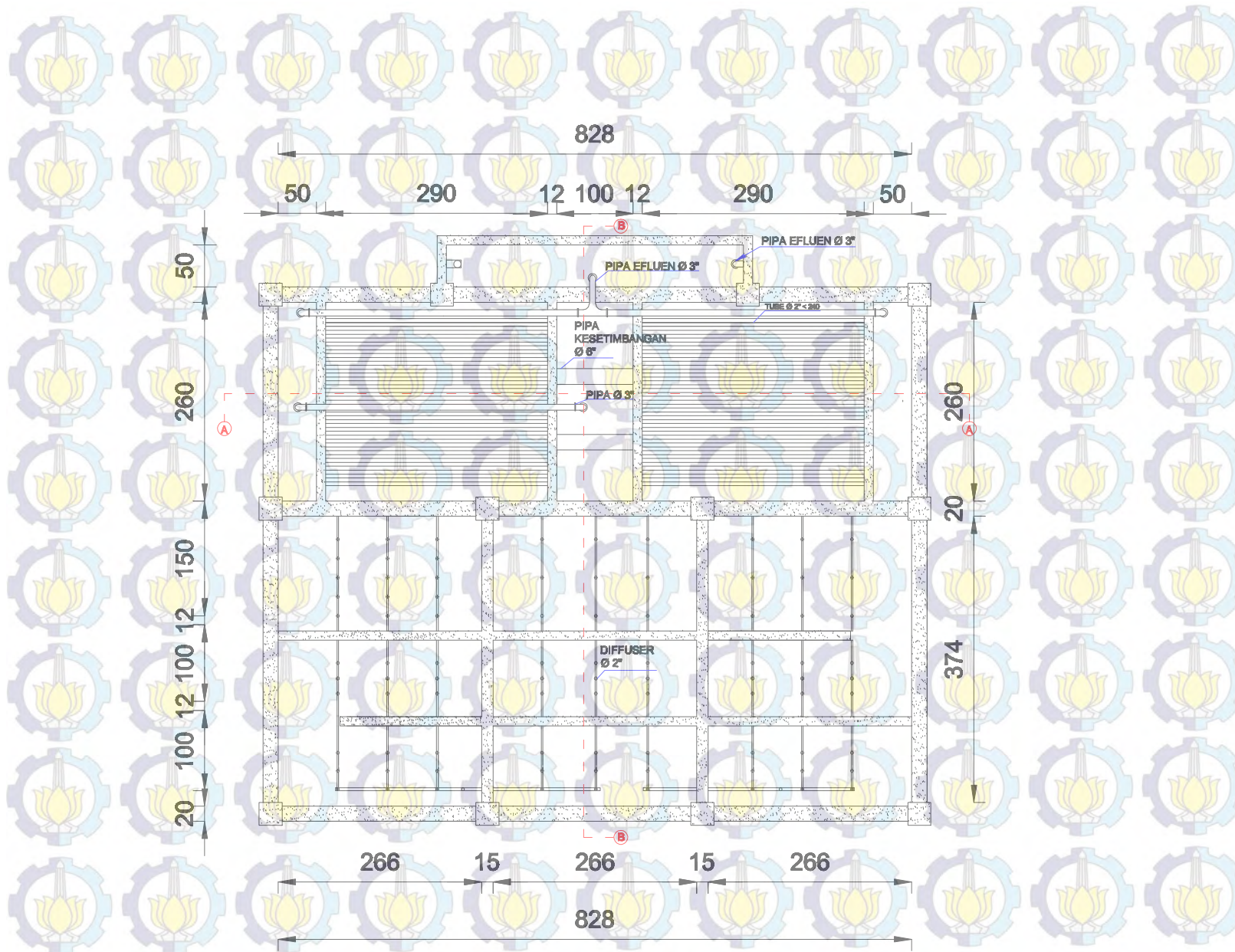
DENAH DAN POTONGAN C-C
BAK EQUALISASI EKSISTING

KONSULTAN PERENCANA

adyagraha

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH
1 : 50	2	12





Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

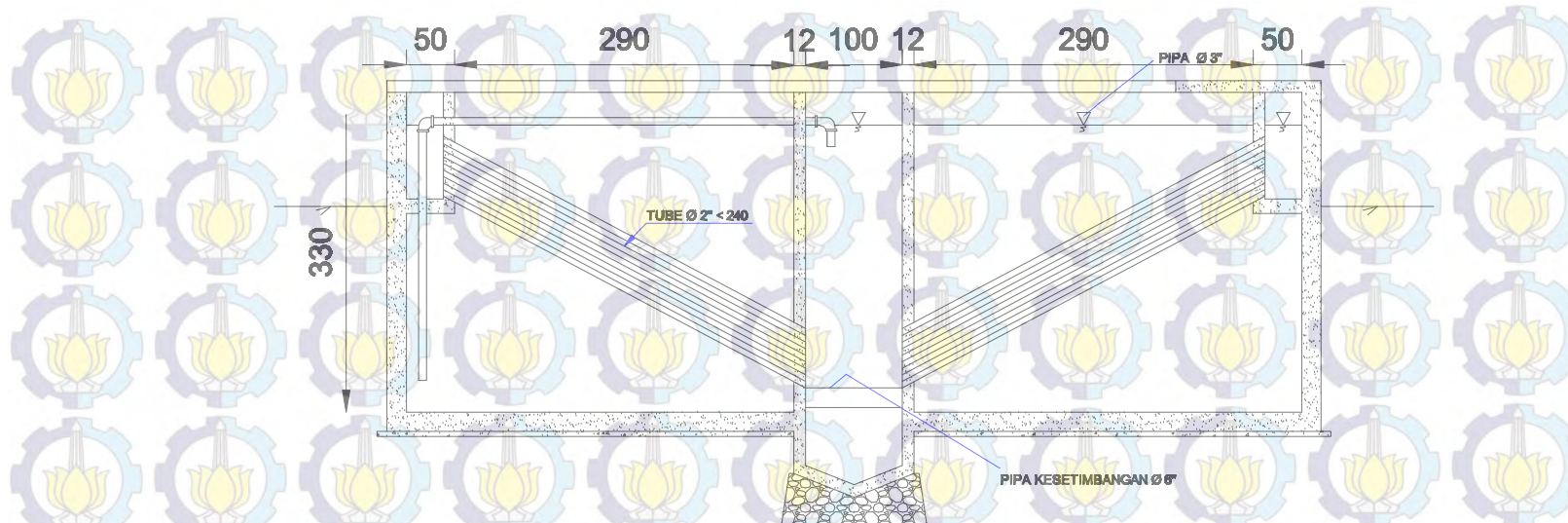
JUDUL GAMBAR

**DENAH ACTIVATED SLUDGE
EKSISTING**

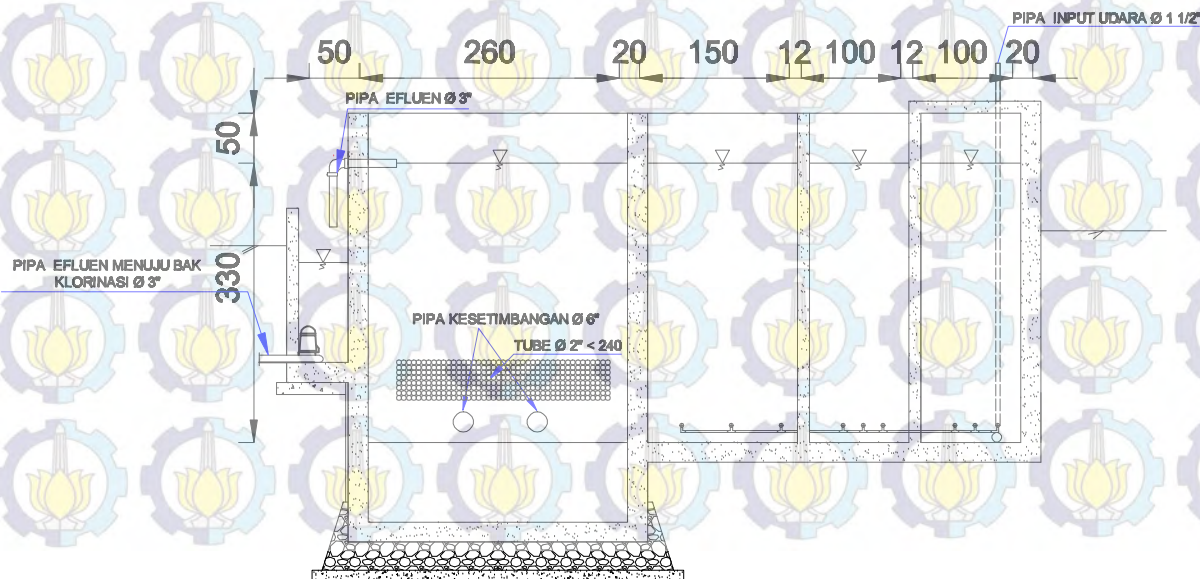
KONSULTAN PERENCANA

adyagraha

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH
1 : 75	3	12



POTONGAN A-A



POTONGAN B-B



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A-A BAK PENGENDAP
DAN B-B ACTIVATED SLUDGE

KONSULTAN PERENCANA

adyagraha

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH
1 : 75	4	12



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

DENAH BAK KLOORINASI DAN
BAK KONTROL EKSTISTING

KONSULTAN PERENCANA

adyagraha

SKALA	NO. GAMBAR	JUMLAH
1 : 25	5	12



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

POTONGAN AA DAN B-B
BAK KLORINASI EKSTING

KONSULTAN PERENCANA

adyagraha

SKALA

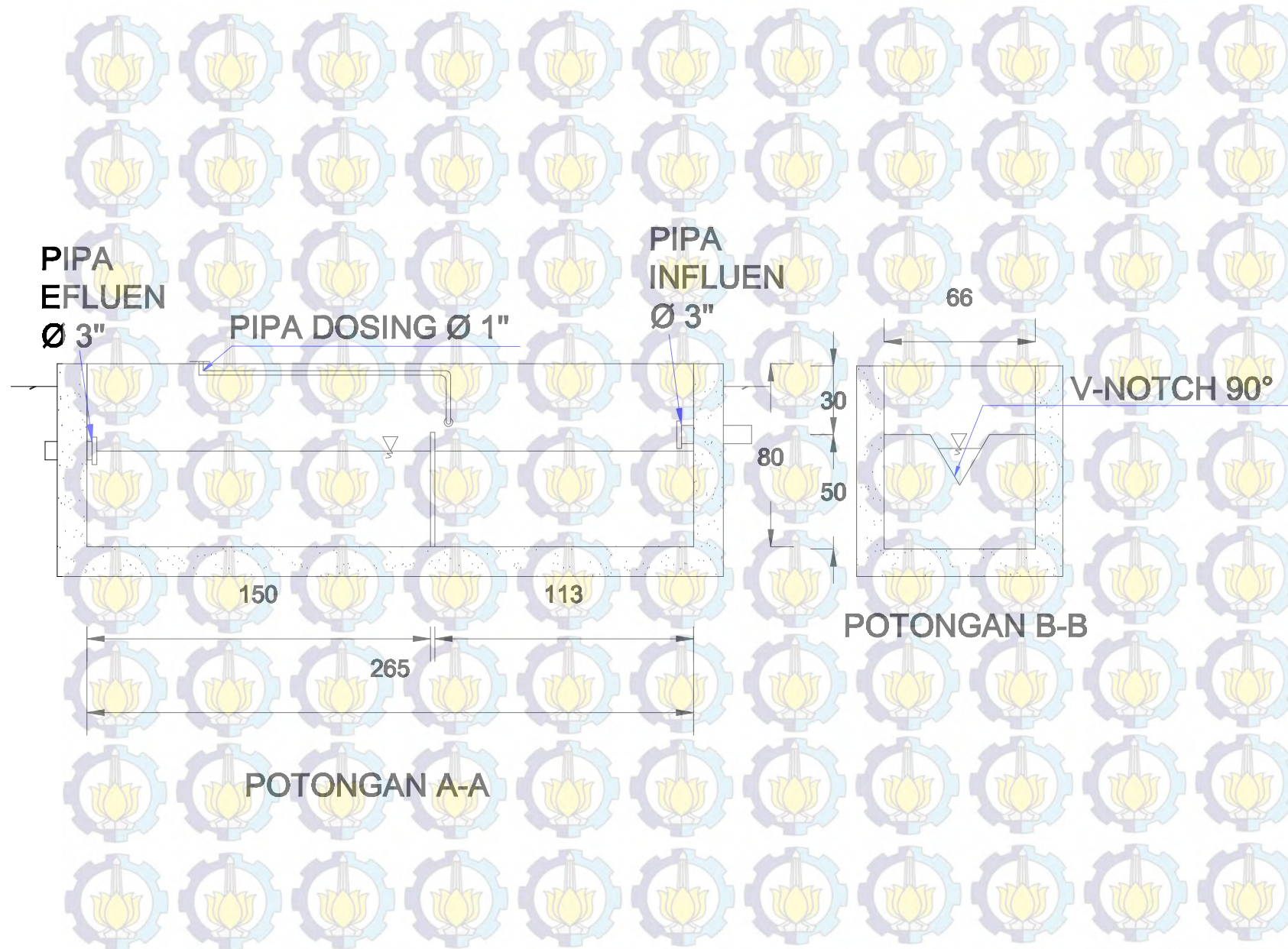
NO.
GAMBAR

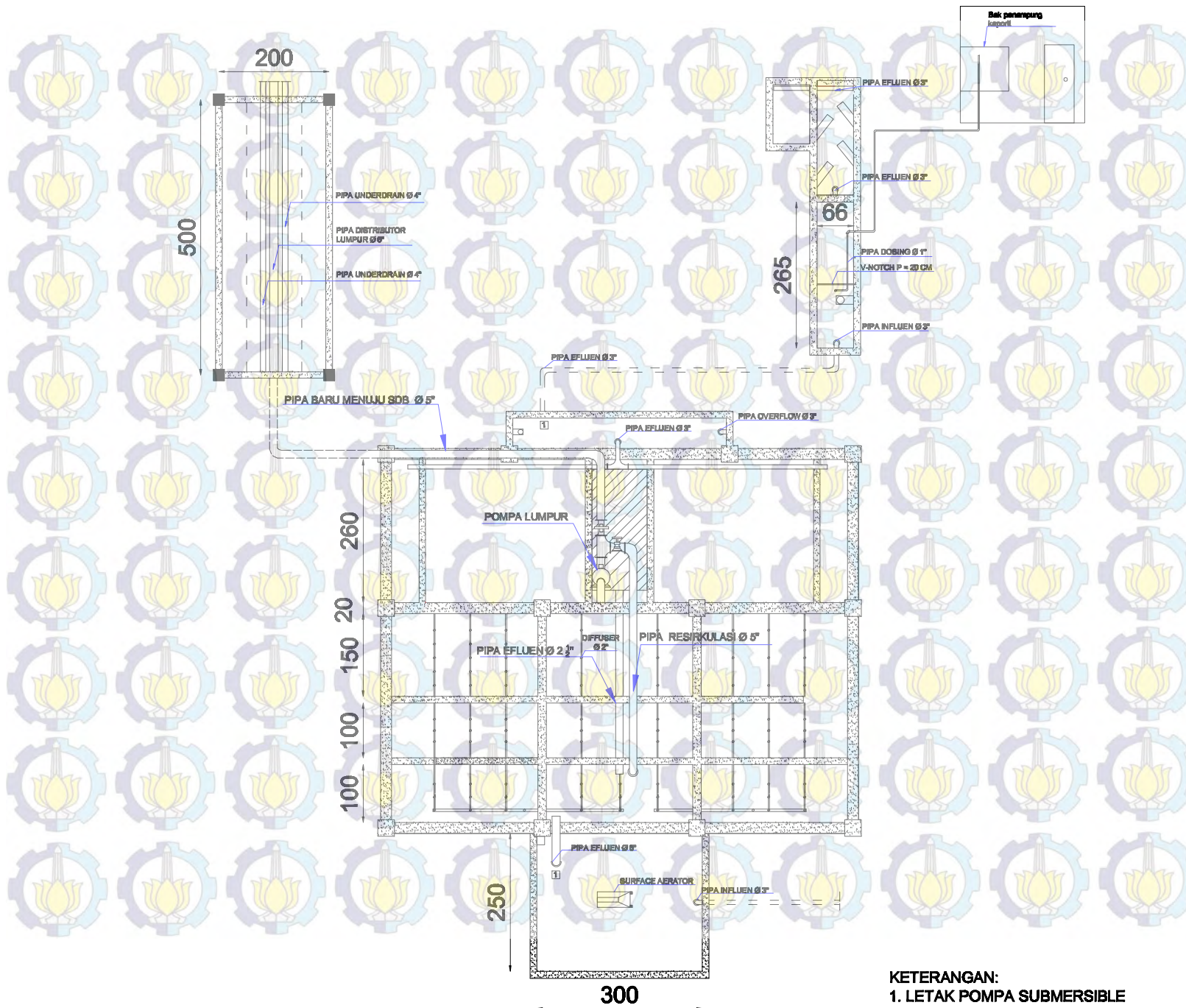
JUMLAH

1 : 25

6

12





KETERANGAN:
1. LETAK POMPA SUBMERSIBLE



**Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya**

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X
MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

LAYOUT IPAL RENCANA

SKALA

1 : 100

NO. GAMBAR

JUMLAH

7

12



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

DENAH DAN POTONGAN BAK
EQUALISASI RENCANA

SKALA

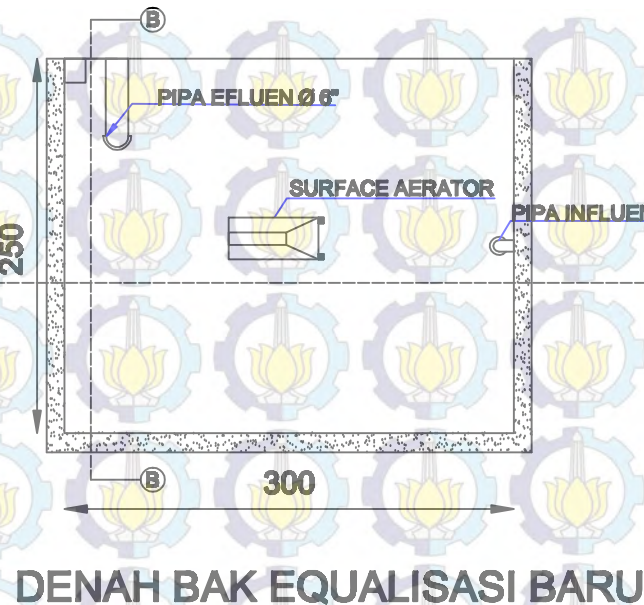
1 : 50

NO. GAMBAR

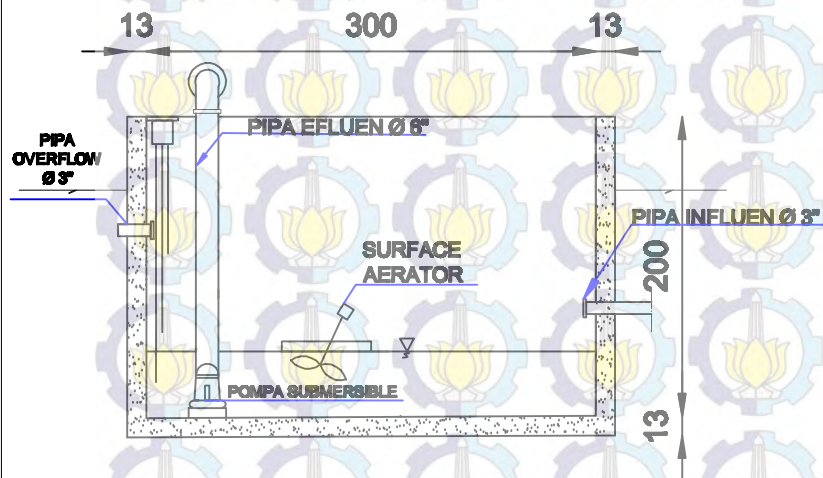
8

JUMLAH

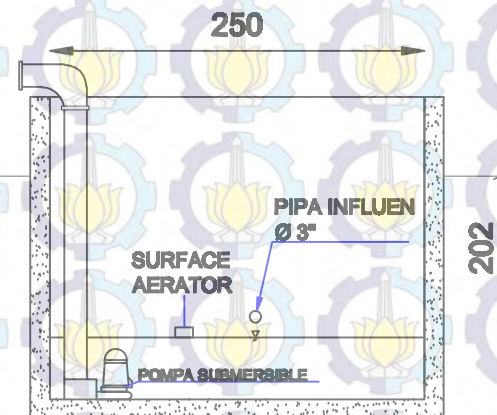
12



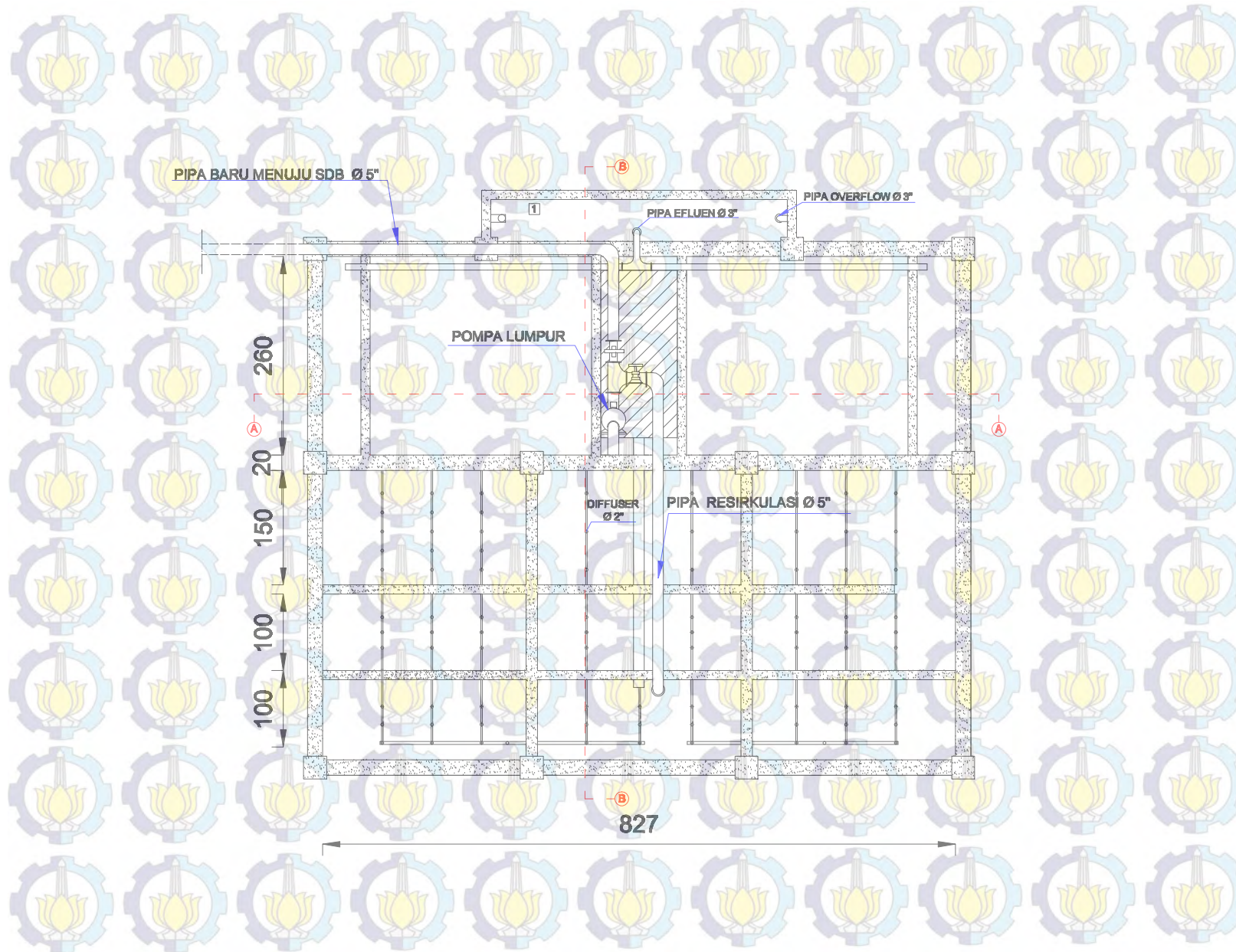
DENAH BAK EQUALISASI BARU



POTONGAN A-A



POTONGAN B-B



**Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya**

TUGAS AKHIR
**Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X**

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah

3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

**DENAH ACTIVATED SLUDGE
RENCANA**

SKALA

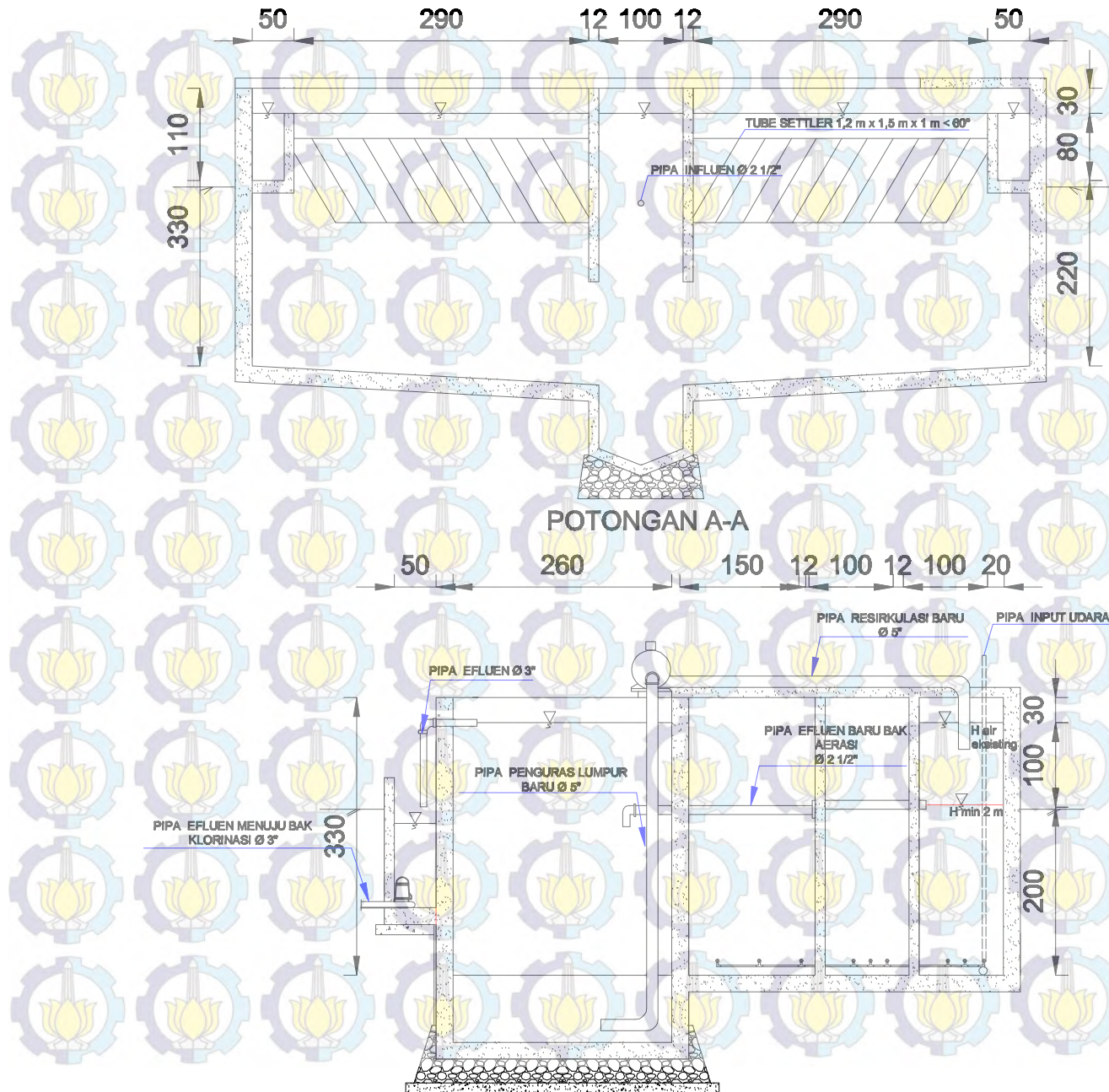
1 : 75

NO. GAMBAR

JUMLAH

9

12



POTONGAN B-B



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A-A BAK PENGENDAP
DAN B-B ACTIVATED SLUDGE

SKALA

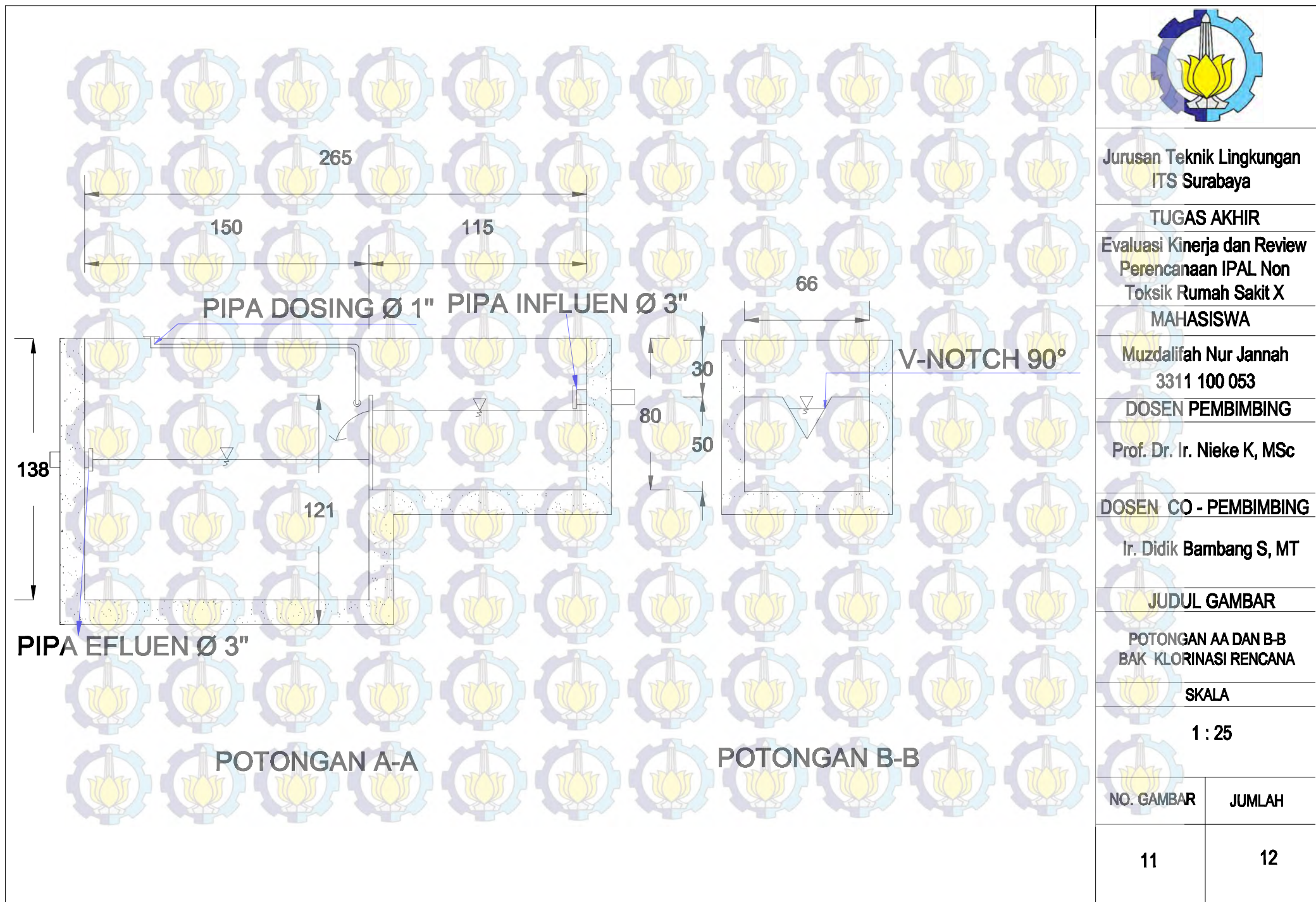
1 : 75

NO. GAMBAR

JUMLAH

10

12



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

POTONGAN AA DAN B-B
BAK Klorinasi RENCANA

SKALA

1 : 25

NO. GAMBAR

JUMLAH

11

12



POTONGAN A-A



Jurusan Teknik Lingkungan
ITS Surabaya

TUGAS AKHIR
Evaluasi Kinerja dan Review
Perencanaan IPAL Non
Toksik Rumah Sakit X

MAHASISWA

Muzdalifah Nur Jannah
3311 100 053

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Nieke K, MSc

DOSEN CO - PEMBIMBING

Ir. Didik Bambang S, MT

JUDUL GAMBAR

DENAH BAK PELARUT DAN
BAK PEMBUBUH

SKALA

1 : 25

NO. GAMBAR

JUMLAH

12

12

DATA HASIL ANALISIS LABORATORIUM

A. Hasil Analisis Sampel selama 1 Minggu

1. TSS

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)				
	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi	Baku mutu
16 maret 2015	90	75	60	40	30
17 maret 2015	146,66	144,66	80	53,3	30
18 maret 2015	146,66	144,66	80	80	30
19 maret 2015	333,33	60	48	24	30
20 maret 2015	112	72	48	48	30
21 maret 2015	100	88	40	40	30

2. PO₄

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi	
16 maret 2015	9,40	7,19	6,13	4,88	2
17 maret 2015	6,49	6,13	5,23	4,83	2
18 maret 2015	6,13	6,03	5,88	4,52	2
19 maret 2015	6,99	7,39	8,14	10,36	2
20 maret 2015	7,04	6,94	6,79	7,14	2

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi	
21 maret 2015	6,69	6,44	5,58	6,69	2

3. COD

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)				Baku Mutu
	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi	
16 maret 2015	200	180	140	140	80
17 maret 2015	200	180	180	170	80
18 maret 2015	240	160	100	90	80
19 maret 2015	260	220	200	180	80
20 maret 2015	380	100	140	100	80
21 maret 2015	140	260	180	120	80

4. BOD

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi	
16 maret 2015	135,50	139,13	197,31	126,48	30
17 maret 2015	106,62	151,89	75,63	101,05	30
18 maret 2015	167,10	93,01	72,77	67,75	30
19 maret 2015	247,04	106,62	102,22	91,37	30

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)				
	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi	Baku mutu
20 maret 2015	192,25	114,02	60,71	40,47	30
21 maret 2015	231,24	31,26	96,39	76,25	30

5. NH₃

Tanggal	Konsentrasi (mg/L)				
	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi	Baku mutu
16 maret 2015	0,77	0,71	0,71	0,80	0,1
17 maret 2015	1,03	0,68	0,65	0,51	0,1
18 maret 2015	0,24	0,01	0,39	0,42	0,1
19 maret 2015	0,48	0,94	0,30	0,45	0,1
20 maret 2015	1,47	0,57	0,01	0,39	0,1
21 maret 2015	1,99	1,93	0,36	0,1	0,1

B. HASIL ANALISIS SAMPEL SELAMA 1 BULAN

1. TSS

Tanggal	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi
19 maret 2015	333,33	60	48	24
02-Apr-15	220	212	164	140
09-Apr-15	300	284	64	52

Tanggal	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi
16-Apr-15	58	56	56	20,00
Rata-rata	227,83	153,00	83,00	59,00

2. COD

Tanggal	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi
19 maret 2015	200	180	140	140
02-Apr-15	160	100	90	80
09-Apr-15	280	220	200	140
16-Apr-15	280	240	220	120
Rata-rata	230	185	162,5	120

3. BOD

Tanggal	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi
19 maret 2015	197,31	139,13	136	126
02-Apr-15	80,78	70,76	69,68	68,67
09-Apr-15	109,47	102,34	100,60	66,11
16-Apr-15	237,97	164,60	115,19	94,53
Rata-rata	156,38	119,21	105,37	88,95

4. NH_3

Tanggal	Influen aerasi	efluen aerasi	efluen BP	Efluen klorinasi
19 maret 2015	0,94	0,48	0,45	0,3
02-Apr-15	0,80	0,74	0,68	0,33
09-Apr-15	6,89	5,63	5,52	5,28
16-Apr-15	2,20	2,02	1,41	0,30
Rata-rata	2,71	2,22	2,01	1,55

PERHITUNGAN MASS BALANCE

A. Kondisi Eksisting

- COD

Bak aerasi

$$\begin{aligned}\text{Massa in} &= \text{Konsentrasi COD rata-rata influen} \\ &\text{aerasi (kg/m}^3\text{) x Q (m}^3\text{/hari)} \\ &= 0,23 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3\text{/hari} \\ &= 18,05 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata 1 bulan COD} \\ &= 20\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa teremoval} &= 20\% \times 18,05 \text{ kg/hari} \\ &= 3,75 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa out} &= \text{Massa in} - \text{massa teremoval} \\ &= 18,05 \text{ kg/hari} - 3,75 \text{ kg/hari} \\ &= 14,3 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Bak pengendap

$$\begin{aligned}\text{Massa in} &= 14,3 \text{ kg/hari} \\ \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata COD} \\ &= 12\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa teremoval} &= 14,3 \text{ kg/hari} \times 12\% \\ &= 1,71 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa out} &= 14,3 \text{ kg/hari} - 1,71 \text{ kg/hari} \\ &= \end{aligned}$$

Bak Klorinasi

$$\begin{aligned}\text{Massa in} &= 12,59 \text{ kg/hari} \\ \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata COD} \\ &= 26\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa teremoval} &= 12,59 \text{ kg/hari} \times 26\% \\ &= 3,27 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa out} &= 12,59 \text{ kg/hari} - 3,27 \text{ kg/hari} \\ &= 9,32 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

- BOD

Bak aerasi

$$\begin{aligned}\text{Massa in} &= \text{Konsentrasi BOD rata-rata influen} \\ &\text{aerasi (kg/m}^3\text{) x Q (m}^3\text{/hari)} \\ &= 0,156 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3\text{/hari} \\ &= 12,27 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata 1 bulan BOD} \\ &= 24\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa teremoval} &= 24\% \times 12,27 \text{ kg/hari} \\ &= 2,94 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa out} &= \text{Massa in} - \text{massa teremoval} \\ &= 12,27 \text{ kg/hari} - 2,94 \text{ kg/hari} \\ &= 9,33 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Bak pengendap

$$\begin{aligned}\text{Massa in} &= 9,33 \text{ kg/hari} \\ \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata BOD} \\ &= 12\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa teremoval} &= 9,33 \text{ kg/hari} \times 12\% \\ &= 1,11 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa out} &= 9,33 \text{ kg/hari} - 1,11 \text{ kg/hari} \\ &= 8,22 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Bak Klorinasi

$$\begin{aligned}\text{Massa in} &= 8,22 \text{ kg/hari} \\ \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata BOD} \\ &= 16\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa teremoval} &= 8,22 \text{ kg/hari} \times 16\% \\ &= 1,31 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa out} &= 8,22 \text{ kg/hari} - 1,31 \text{ kg/hari} \\ &= 6,91 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

- TSS

Bak aerasi

$$\begin{aligned}\text{Massa in} &= \text{Konsentrasi TSS rata-rata influen} \\ &\text{aerasi (kg/m}^3\text{) x Q (m}^3\text{/hari)} \\ &= 0,227 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3\text{/hari} \\ &= 17,87 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata 1 bulan TSS} \\
 &= 33\% \\
 \text{Massa teremoval} &= 33\% \times 17,87 \text{ kg/hari} \\
 &= 5,89 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa out} &= \text{Massa in} - \text{massa teremoval} \\
 &= 17,87 \text{ kg/hari} - 5,89 \text{ kg/hari} \\
 &= 11,98 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bak pengendap} \\
 \text{Massa in} &= 11,98 \text{ kg/hari} \\
 \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata TSS} \\
 &= 46\% \\
 \text{Massa teremoval} &= 11,98 \text{ kg/hari} \times 46\% \\
 &= 5,51 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa out} &= 11,98 \text{ kg/hari} - 5,51 \text{ kg/hari} \\
 &= 6,47 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bak Klorinasi} \\
 \text{Massa in} &= 6,47 \text{ kg/hari} \\
 \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata TSS} \\
 &= 29\% \\
 \text{Massa teremoval} &= 6,47 \text{ kg/hari} \times 29\% \\
 &= 1,87 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa out} &= 6,47 \text{ kg/hari} - 1,87 \text{ kg/hari} \\
 &= 4,6 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

• PO_4

$$\begin{aligned}
 \text{Bak aerasi} \\
 \text{Massa in} &= \text{Konsentrasi } \text{PO}_4 \text{ rata-rata influen} \\
 &\quad \text{aerasi (kg/m}^3) \times Q \text{ (m}^3\text{/hari)} \\
 &= 0,013 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3\text{/hari} \\
 &= 1,01 \text{ kg/hari} \\
 \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata 1 bulan } \text{PO}_4 \\
 &= 10\% \\
 \text{Massa teremoval} &= 1,01 \text{ kg/hari} \times 10\% \\
 &= 0,101 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa out} &= \text{Massa in} - \text{massa teremoval} \\
 &= 1,01 \text{ kg/hari} - 0,101 \text{ kg/hari} \\
 &= 0,90 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Bak pengendap

Massa in = 0,9 kg/hari

% removal = % efisiensi rata-rata PO_4

= 7%

Massa teremoval = 0,9 kg/hari x 7%

= 0,063 kg/hari

Massa out = 0,9 kg/hari – 0,063 kg/hari

= 0,837 kg/hari

Bak Klorinasi

Massa in = 0,837 kg/hari

% removal = % efisiensi rata-rata PO_4

= 21%

Massa teremoval = 0,837 kg/hari x 21%

= 0,175 kg/hari

Massa out = 0,837 kg/hari – 0,175 kg/hari

= 0,66 kg/hari

• NH_3

Bak aerasi

Massa in = Konsentrasi NH_3 rata-rata influen aerasi (kg/m^3) x Q (m^3/hari)

= $0,00271 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3/\text{hari}$

= 0,21 kg/hari

% removal = % efisiensi rata-rata 1 bulan NH_3

= 18%

Massa teremoval = 18% x 0,21 kg/hari

= 0,037 kg/hari

Massa out = Massa in – massa teremoval

= 0,21 kg/hari – 0,037 kg/hari

= 0,173 kg/hari

Bak pengendap

Massa in = 0,173 kg/hari

% removal = % efisiensi rata-rata PO_4

= 9%

Massa teremoval = 0,173 kg/hari x 9%

$$\begin{aligned}
 &= 0,0155 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa out} &= 0,173 \text{ kg/hari} - 0,0155 \text{ kg/hari} \\
 &= 0,157 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Bak Klorinasi

$$\begin{aligned}
 \text{Massa in} &= 0,157 \text{ kg/hari} \\
 \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata} \\
 &= 23\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa teremoval} &= 0,157 \text{ kg/hari} \times 23\% \\
 &= 0,036 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa out} &= 0,157 \text{ kg/hari} - 0,036 \text{ kg/hari} \\
 &= 0,121 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

B. Kondisi Ideal

- COD

Bak aerasi

$$\begin{aligned}
 \text{Massa in} &= \text{Konsentrasi COD rata-rata influen} \\
 &\quad \text{aerasi (kg/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/hari)} \\
 &= 0,23 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3\text{/hari} \\
 &= 18,05 \text{ kg/hari} \\
 \% \text{ removal} &= 0\%
 \end{aligned}$$

Bak pengendap

$$\begin{aligned}
 \text{Massa in} &= 18,05 \text{ kg/hari} \\
 \% \text{ removal} &= \% \text{ efisiensi rata-rata COD} \\
 &= 80\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa teremoval} &= 18,05 \text{ kg/hari} \times 80\% \\
 &= 14,44 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa out} &= 18,05 \text{ kg/hari} - 14,44 \text{ kg/hari} \\
 &= 3,61 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- BOD

Bak aerasi

$$\begin{aligned}
 \text{Massa in} &= \text{Konsentrasi BOD rata-rata influen} \\
 &\quad \text{aerasi (kg/m}^3\text{)} \times Q \text{ (m}^3\text{/hari)} \\
 &= 0,156 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3\text{/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 12,3 \text{ kg/hari} \\ \% \text{ removal} &= 0\% \end{aligned}$$

Bak pengendap

$$\text{Massa in} = 12,3 \text{ kg/hari}$$

$$\% \text{ removal} = \% \text{ efisiensi rata-rata BOD}$$

$$= 80\%$$

$$\text{Massa teremoval} = 12,3 \text{ kg/hari} \times 80\%$$

$$= 9,84 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa out} = 12,3 \text{ kg/hari} - 9,84 \text{ kg/hari}$$

$$= 2,46 \text{ kg/hari}$$

- TSS

Bak aerasi

$$\text{Massa in} = \text{Konsentrasi TSS rata-rata influen aerasi (kg/m}^3) \times Q \text{ (m}^3\text{/hari)}$$

$$= 0,227 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3\text{/hari}$$

$$= 17,9 \text{ kg/hari}$$

$$\% \text{ removal} = 0\%$$

Bak pengendap

$$\text{Massa in} = 17,9 \text{ kg/hari}$$

$$\% \text{ removal} = \% \text{ efisiensi rata-rata TSS}$$

$$= 65\%$$

$$\text{Massa teremoval} = 17,9 \text{ kg/hari} \times 93\%$$

$$= 16,65 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa out} = 17,9 \text{ kg/hari} - 16,64 \text{ kg/hari}$$

$$= 1,26 \text{ kg/hari}$$

- PO₄

Bak aerasi

$$\text{Massa in} = \text{Konsentrasi PO}_4 \text{ rata-rata influen aerasi (kg/m}^3) \times Q \text{ (m}^3\text{/hari)}$$

$$= 0,013 \text{ kg/m}^3 \times 78,47 \text{ m}^3\text{/hari}$$

$$= 1,01 \text{ kg/hari}$$

$$\% \text{ removal} = 0\%$$

Bak pengendap

Massa in = 1,01 kg/hari

% removal = 70%

Massa teremoval = 1,01 kg/hari x 80%

= 0,80 kg/hari

Massa out = 1,01 kg/hari – 0,8 kg/hari

= 0,21 kg/hari

• NH_3

Bak aerasi

Massa in = Konsentrasi NH_3 rata-rata influen
aerasi (kg/m^3) x Q (m^3/hari)

= 0,0027 kg/m^3 x 78,47 m^3/hari

= 0,21 kg/hari

% removal = 0%

Bak pengendap

Massa in = 0,21 kg/hari

% removal = 70%

Massa teremoval = 0,21 kg/hari x 80%

= 0,17 kg/hari

Massa out = 0,21 kg/hari – 0,17 kg/hari

= 0,04 kg/hari

HSPK KOTA SURABAYA

TAHUN 2015

Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
PEKERJAAN PERSIAPAN				
Pembongkaran Dinding Tembok dengan Pembersihan		m ²		
<u>upah</u>				
Mandor	0.05	O.H	Rp 120,000	Rp 6,000
Pembantu tukang	1	O.H	Rp 99,000	Rp 99,000
			Jumlah Total	Rp 105,000
Pembuatan Bouwplank / Titik		Titik		
<u>upah</u>				
Mandor	0.0045	O.H	Rp 120,000	Rp 540
Kepala tukang	0.01	O.H	Rp 110,000	Rp 1,100
Tukang	0.1	O.H	Rp 105,000	Rp 10,500
Pembantu tukang	0.1	O.H	Rp 99,000	Rp 9,900
			Jumlah	Rp 22,040
<u>Bahan/Material</u>				
Kayu meranti (bekisting)	0.008	m ³	Rp 3,200,000	Rp 25,600
Kayu meranti (usuk 4/6)	0.012	m ³	Rp 4,500,000	Rp 54,000
Paku biasa 2" - 5"	0.05	doz	Rp 27,000	Rp 1,350
			Jumlah	Rp 80,950
			Jumlah Total	Rp 102,990
Pengukuran dan Pemasangan Bouwplank (UITZET)		m		
<u>upah</u>				
Mandor	0.005	O.H	Rp 120,000	Rp 600
Kepala tukang	0.01	O.H	Rp 110,000	Rp 1,100
Tukang	0.1	O.H	Rp 105,000	Rp 10,500
Pembantu tukang	0.1	O.H	Rp 99,000	Rp 9,900
			Jumlah	Rp 22,100
<u>Bahan/Material</u>				
Kayu meranti (PAPAN 2/20)	0.007	m ³	Rp 2,830,000	Rp 19,810
Kayu meranti (usuk 5/7)	0.012	m ³	Rp 4,500,000	Rp 54,000
Paku biasa 2" - 5"	0.02	doz	Rp 27,000	Rp 540
			Jumlah	Rp 74,350
			Jumlah Total	Rp 96,450

PEKERJAAN TANAH					
Penggalian Tanah		m ³			
upah					
Mandor	0.025	O.H	Rp	120,000	Rp 3,000
Pembantu tukang	0.75	O.H	Rp	99,000	Rp 74,250
			Jumlah		Rp 77,250
Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian		m ³			
upah					
Mandor	0.0075	O.H	Rp	120,000	Rp 900
Pembantu tukang	0.15	O.H	Rp	99,000	Rp 14,850
			Jumlah		Rp 15,750
PEKERJAAN BETON					
Pekerjaan pondasi beton bertulang (150 kg besi + bekisting)		m ³			
upah					
Mandor	0.265	O.H	Rp	120,000	Rp 31,800
Kepala tukang	0.262	O.H	Rp	110,000	Rp 28,820
Tukang	1.3	O.H	Rp	105,000	Rp 136,500
Tukang	0.275	O.H	Rp	105,000	Rp 28,875
Tukang	1.05	O.H	Rp	105,000	Rp 110,250
Pembantu tukang	5.3	O.H	Rp	99,000	Rp 524,700
			Jumlah		Rp 860,945
Bahan					
semen PC 40 kg	8.4	Zak	Rp	63,000	Rp 529,200
Pasir cor/beton	0.54	m ³	Rp	232,100	Rp 125,334
Batu pecah mesin 1/2 cm	0.81	m ³	Rp	466,000	Rp 377,460
Besi beton polos	157.5	Kg	Rp	12,000	Rp 1,890,000
Paku triplek/eternit	1.5	Kg	Rp	22,000	Rp 33,000
Kawat ikat	2.25	Kg	Rp	23,000	Rp 51,750
Kayu meranti bekisting	0.2	m ³	Rp	3,200,000	Rp 640,000
Minyak Bekisting	0.4	Liter	Rp	28,300	Rp 11,320
			Jumlah		Rp 3,658,064
			Jumlah Total		Rp 4,519,009
Pekerjaan lantai kerja (K 100)		m3			
Bahan					
semen PC 40 kg	5.75	Zak	Rp	63,000	Rp 362,250
Pasir beton	0.558	m3	Rp	232,100	Rp 129,512
Batu pecah mesin 1/2 cm	0.54	m3	Rp	466,000	Rp 251,640
Air (biaya air tawar)	215	liter	Rp	27	Rp 5,805
			Jumlah		Rp 749,207
Upah					
Mandor	0.06	O.H	Rp	120,000	Rp 7,200
Kepala tukang batu	0.02	O.H	Rp	110,000	Rp 2,200
Tukang batu	0.2	O.H	Rp	105,000	Rp 21,000
Pembantu tukang	1.2	O.H	Rp	99,000	Rp 118,800
			Jumlah		Rp 149,200
			Total jumlah		Rp 898,407

Pekerjaan Beton K-225			m ³		
upah					
Mandor	0.083	O.H	Rp	120,000	Rp 9,960
Kapala tukang	0.028	O.H	Rp	110,000	Rp 3,080
Tukang	0.275	O.H	Rp	105,000	Rp 28,875
Pembantu tukang	1.65	O.H	Rp	99,000	Rp 163,350
			Jumlah		Rp 205,265
Bahan					
semen PC 40 Kg	9.275	Zak	Rp	63,000	Rp 584,325
Pasir cor/beton	0.43625	m ³	Rp	232,100	Rp 101,254
Batu pecah mesin 1/2 cm	0.5510526	m ³	Rp	466,000	Rp 256,791
Air kerja	215	Liter	Rp	27	Rp 5,805
			Jumlah		Rp 948,174
			Jumlah Total		Rp 1,153,439
FINISHING					
Pemasangan Pipa Air Kotor diameter 1 1/2'		m			
upah					
Mandor	0.00018	O.H	Rp	120,000	Rp 22
Kapala tukang	0.006	O.H	Rp	110,000	Rp 660
Tukang	0.06	O.H	Rp	105,000	Rp 6,300
Pembantu tukang	0.036	O.H	Rp	99,000	Rp 3,564
			Jumlah		Rp 10,546
Bahan					
Pipa PVC Tipe C uk 1 1/2' (4 m)	0.3	Batang	Rp	27,000	Rp 8,100
Pipa PVC Tipe C uk 1 1/2' (4 m)	0.105	Batang	Rp	27,000	Rp 2,835
			Jumlah		Rp 10,935
			Jumlah Total		Rp 21,481
Pemasangan Pipa Air Kotor diameter 6'		m			
upah					
Mandor	0.0041	O.H	Rp	120,000	Rp 492
Kapala tukang	0.0135	O.H	Rp	110,000	Rp 1,485
Tukang	0.135	O.H	Rp	105,000	Rp 14,175
Pembantu tukang	0.081	O.H	Rp	99,000	Rp 8,019
			Jumlah		Rp 24,171
Bahan					
Pipa PVC Tipe C uk 6' (6 m)	0.2	Batang	Rp	27,000	Rp 5,400
Pipa PVC Tipe C uk 6' (6 m)	0.07	Batang	Rp	27,000	Rp 1,890
			Jumlah		Rp 7,290
			Jumlah Total		Rp 31,461

Pemasangan Pompa					
upah					
Mandor	0.04	O.H	Rp 120,000	Rp 4,800	
Tukang	0.4	O.H	Rp 105,000	Rp 42,000	
			Jumlah	Rp 46,800	
Bahan					
Pompa	1	unit	#REF!	#REF!	
			Jumlah	#REF!	
			Jumlah Total	#REF!	
Pemasangan Surface Aerator					
upah					
Mandor	0.04	O.H	Rp 120,000	Rp 4,800	
Tukang	0.4	O.H	Rp 105,000	Rp 42,000	
			Jumlah	Rp 46,800	
Bahan					
Surface aerator	1	unit	Rp 500,000	Rp 500,000	
			Jumlah	Rp 500,000	
			Jumlah Total	Rp 546,800	
Pemasangan Pipa Air Kotor diameter 3'					
upah					
		O.H			
Mandor	0.0041		Rp 120,000	Rp 492	
Kapala tukang	0.0135	O.H	Rp 110,000	Rp 1,485	
Tukang	0.135	O.H	Rp 105,000	Rp 14,175	
Pembantu tukang	0.081	O.H	Rp 99,000	Rp 8,019	
			Jumlah	Rp 24,171	
Bahan					
Pipa PVC Tipe C uk 6' (6 m)	0.3	Batang	Rp 69,000	Rp 20,700	
Pipa PVC Tipe C uk 6' (6 m)	0.105	Batang	Rp 69,000	Rp 7,245	
			Jumlah	Rp 27,945	
			Jumlah Total	Rp 52,116	

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, E. 2014. Evaluasi kinerja Instalasi Pengolahan air limbah RSUD DR. M. Soewandhie Surabaya . Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Emmanuel, E., Pierre, M. G, dan Perrodin Y. 2009. Groundwater contamination by microbiological and chemical substances released from hospital wastewater: health risk assessment for drinking water consumers. *Environment International*. 35 (4), 718-726.
- Gautam, A.K., Kumar, S, dan Sabumon, P.C. 2007. Preliminary study of physico-chemical treatment options for hospital wastewater. *Journal of Environmental Management*. 83, (3) 298–306.
- Hasan, A. 2006. Dampak pengguna klorin. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 7 (1), 90-96.
- Jolibois, B dan Guerbet, M. 2006. Hospital wastewater genotoxicity. *Annals of Occupational Hygiene*. 50 (2), 189–196.
- Kepmenkes. 2010. Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 340 Tahun 2010 tentang Klasifikasi Rumah Sakit. Pemerintah RI, Jakarta.
- Khusnuryani, A. 2008. Mikrobial sebagai agen penurun fosfat pada pengolahan limbah cair rumah sakit. *Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi*. IST AKPRIND Yogyakarta, 144-151.
- Komarawidjaja, W. 2007. Degradasi BOD dan COD pada Sistem Lumpur Aktif Pengolahan Limbah Cair Tekstil. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 8 (1), 22-28.
- Metcalf dan Eddy. 1991. *Wastewater engineering treatment dan reuse. Third edition*. The McGraw Hill Companies Inc, New York.
- Metcalf dan Eddy. 2004. *Wastewater engineering treatment and reuse. Fourth edition*. The McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Metcalf dan Eddy. 2014. *Wastewater engineering treatment and reuse. Fifth edition*. The McGraw-Hill Companies Inc, New York.

- Morimura, T dan Sofyan, M. 2000. Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Nurdijanto, S.A., Purwanto., Sasongko, S. B. 2011. Rancang bangun dan rekayasa pengolahan limbah cair rumah sakit. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9 (1), 25-30.
- Pauwels, B dan Verstraete, W. 2006. The treatment of hospital wastewater:an appraisal. *Journal of Water and Health*. 4 (4), 405-416.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur. 2013. Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Pemerintah Provinsi Jawa Timur.
- Qasim, S. R. 1985. *Wastewater treatment plants*. CBS College publishing, Canada.
- Reynolds, T.D dan Richards, P.A. 1996. *Unit operations dan processes in environmental engineering. Second edition*. PWS Publishing Company, Boston.
- RSU Haji. 2012. *Pedoman pengelolaan limbah cair RSU Haji Surabaya*. Surabaya
- Said, N. I. 2001. Pengolahan air limbah rumah sakit dengan proses biologis biakan melekat menggunakan media plastik sarang tawon. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 2 (3), 223-240.
- Said, N. I dan Marsidi, R. 2005. Mikroorganisme patogen dan parasit di dalam air limbah domestik serta alternatif teknologi pengolahan. *Jurnal Air Indonesia*. 1 (1), 65-81.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L, dan Parkin, G.F. 2003. *Chemistry for enviromental engineering dan sciences. Fifth edition*. The McGraw Hill Companies, New York.
- Selintung, M dan Syahrir, S. 2012. Studi Pengolahan Air melalui Media Filter Pasir Kuarsa (Studi Kasus Sungai Malimpung). *Prosiding Teknik Sipil Universitas Hasanudin*. 6, 1-10.
- Setiyawan, A dan Hari N, B. 2010. Karakteristik Proses Klarifikasi dalam Sistem Nitrifikasi Denitrifikasi untuk Pengolahan Limbah Cair dengan Kandungan N-NH₃ Tinggi. *Thesis Undergraduate Teknik Kimia Universitas Diponegoro*.

SNI. 2008. Standar Nasional Indonesia 6773:2008 tentang Spesifikasi Unit Paket Instalasi Pengolahan Air. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Suarez, S., Lema, J. M dan Omil, F. 2009. Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation-flocculation dan flotation. *Bioresource Technology*. 100 (7), 2138-2146.

Subekti, S. 2011. Pengaruh dan dampak limbah cair rumah sakit terhadap kesehatan serta lingkungan. *Dinamika Sains*. 9 (19), 1-6.

Suparmadja, A. 2014. *Analisis Resiko dan Kinerja IPAL Rumah Sakit dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)*. Tesis Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

Suwarno, D. 2001. Pengelolaan limbah rumah sakit. *Jurnal Teknik Sipil (Sipil Soepra)*. 3 (8), 91-99.

Taghipour, H dan Mosaferi, M. 2009. Characterization of medical waste from hospitals in Tabriz, Iran. *Science of The Total Environment*. 407 (5), 1527-1535.

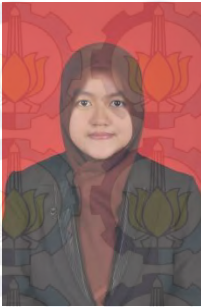
Tchobanoglous, G dan Schroeder E.D. 1985. *Water quality: characteristics, modeling, modification*. Addison-Wesley Publishing Company, United States of America.

Verlicchi, P., Galletti, A., Petrović, M, dan Barcelo, D. 2010. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. *Journal of Hydrology*. 389 (3-4), 416-428.

Widayat, W dan Said, N. I. 2005. Rancang bangun paket IPAL rumah sakit dengan proses biofilter anaerob-aerob kapasitas 20-30 m³ per hari. *Jurnal Air Indonesia*. 1 (1), 52-64.

Yulianti, Pradita C. 2012. Desain Unit Prasedimentasi Instalasi Pengolahan Air Minum. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 03 Juni 1993, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN Tembok Dukuh I/83 Surabaya, SMPN 3 Surabaya, dan SMAN 2 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya pada tahun 2011-2015 dan terdaftar dengan NRP 3311 100 053.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai Sekretaris Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMTL periode 2013/2014. Selain itu, penulis juga aktif menjadi panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS dan aktif sebagai asisten praktikum pada mata kuliah Kimia Lingkungan II. Penulis berkesempatan menjalankan Kerja Praktik di PT. Satoria Binatu, Krian untuk melakukan evaluasi pengolahan air limbah laundry. Penulis dapat dihubungi via email muzdalifahnj@gmail.com.