



TUGAS AKHIR - RE141581

EVALUASI KINERJA DAN *REVIEW* DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK RUMAH SAKIT X

IOBAL IBNU WARDANI
NRP 3311 100 032

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, MSc

Dosen Co-Pembimbing
Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T

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



FINAL PROJECT - RE141581

PERFORMANCE EVALUATION AND DESIGN REVIEW OF HOSPITAL "X" TOXIC WASTEWATER TREATMENT PLANT

IOBAL IBNU WARDANI
NRP 3311 100 032

Supervisor
Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, M.Sc.

Co-Supervisor
Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK RUMAH SAKIT X

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik
pada

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

Oleh:

IQBAL IBNU WARDANI
NRP. 3311100032

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* Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah-Toksik Rumah Sakit X

Nama Mahasiswa : Iqbal Ibnu Wardani
NRP : 3311100032
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.
Dosen Co-Pembimbing : Ir. Didik Bambang S., M.T.

ABSTRAK

Rumah sakit merupakan salah satu fasilitas pelayanan kesehatan yang dapat menghasilkan air limbah yang bersifat toksik terhadap mikroorganisme. Air limbah bersifat toksik apabila influen pengolahan biologis memiliki rasio BOD_5/COD kurang dari 0,5 dan rasio $BOD:N:P$ kurang dari 100:5:1. Rumah Sakit X menggunakan Instalasi Pengolahan Air Limbah-Toksik (IPAL-Toksik) dengan *Rotating Biological Contactor* (RBC) sebagai unit pengolahan biologisnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja IPAL-Toksik dalam mengolah air limbah, melakukan *review* desain IPAL-Toksik serta menghitung biaya dalam penerapan *review* desain dan operasional bulanan. Evaluasi kinerja diawali dengan mengukur kandungan polutan melalui analisis laboratorium. Evaluasi kinerja diketahui berdasarkan efisiensi penyisihan tiap unit. Parameter yang diukur sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72/2013. Efisiensi penyisihan IPAL-Toksik dalam mengolah air limbah sebesar 68,2 % untuk parameter TSS, 36,2% untuk parameter COD, 61% untuk parameter NH_3-N bebas, 34,9% untuk parameter PO_4^{3-} , dan 78,2% untuk Total Coliform/100 ml Air. *Review* desain dilakukan dengan menghitung ulang desain kondisi eksisting IPAL-Toksik. *Review* desain menunjukkan bahwa unit netralisasi, unit RBC dan unit bak pengendap yang belum memenuhi kriteria desain. Rekomendasi dari *review* desain berupa penyediaan pompa penambah debit, pompa penyedot lumpur, pengubahan kecepatan rotasi unit RBC menjadi 4 rpm, dan penyediaan NaOCl. Biaya penerapan rekomendasi sebesar Rp. 98.451.973 dan biaya pemeliharaan Rp. 7.197.482 per bulan.

Kata kunci: Evaluasi Kinerja, IPAL-Toksik, RBC, *Review* Desain



Performance Evaluation and Design Review of Hospital “X” Toxic Wastewater Treatment Plant

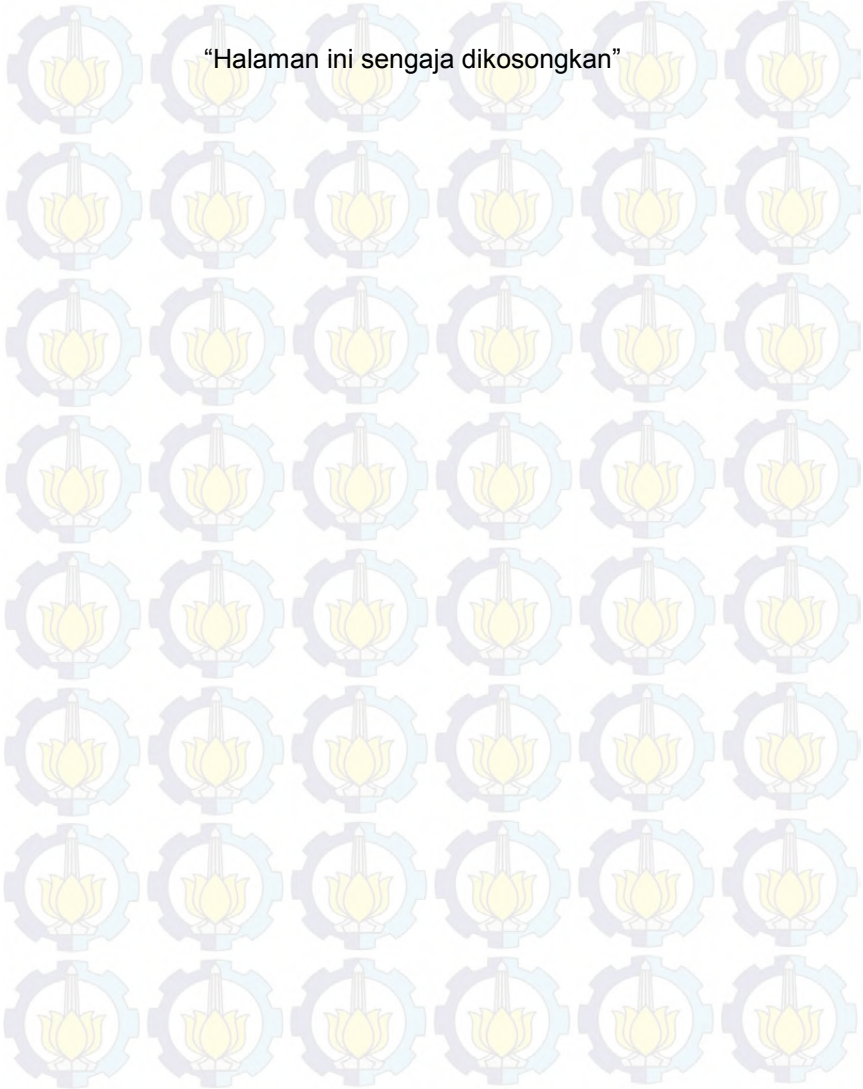
Name of Student : Iqbal Ibnu Wardani
NRP : 3311100032
Department : Environmental Engineering FTSP-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.
Co-Supervisor : Ir. Didik Bambang S., MT

ABSTRACT

Hospital is one of Health Care Facility that produce wastewater that is toxic to microorganisms. Wastewater can be in toxic condition to microorganism when its ratio of BOD5/COD is smaller than 0.5 and ratio of BOD:N:P is smaller than 100:5:1 in biological treatment influent. Hospital “X” is using Toxic Wastewater Treatment (Toxic WWTP) with Rotating Biological Contactor (RBC) as the unit of biological treatment processes. Aim of this study are evaluating the performance of Toxic-WWTP in treating wastewater, reviewing design of Toxic-WWTP and calculating expense of design review application with monthly operational maintenance. Performance evaluation began with measuring the content of pollutants through laboratory analysis. Performance evaluation based on the removal efficiency of each unit. Parameters measured in accordance with East Java Governor Regulation No. 72/2013. Efficiency in treating toxic wastewater were 68.2% for parameter of TSS, 36.2% for the parameter of COD, 61% for parameter of free $\text{NH}_3\text{-N}$, 34.9% for parameter of PO_4^{3-} , and 78.2% for parameter of Total Coliform / 100 ml water. Review was done by recalculating existing condition. Design review showed that neutralization unit, RBC unit and settling basin unit that did not meet design criteria. The recommendations were installing of flow-addition pumps and sludge pumps, changing the rotational speed of RBC unit to 4 rpm and supplying of monthly NaOCl solution. Implementation costs was Rp. 98.451.973 and monthly maintenance costs was Rp. 7.197.482.

Keyword(s): design review, performance evaluation, RBC, toxic-WWTP

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah dan segala puji bagi Allah SWT atas segenap rahmat dan hidayah yang senantiasa diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **"Evaluasi Kinerja dan Review Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah-Toksik Rumah Sakit X"**. Tidak lupa penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan terhadap tugas akhir ini, yakni:

1. Ibu Prof. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc. sebagai dosen pembimbing dan Bapak Ir. Didik Bambang S., M.T. sebagai dosen co-pembimbing tugas akhir.
2. Bapak Ir. M. Razif, M.M. dan Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Sc. selaku dosen penguji tugas akhir.
3. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS dan dosen penguji tugas akhir.
4. Bapak Aria Suparmadja dan seluruh pihak Rumah Sakit Umum Haji Surabaya.
5. Orang tua dan adik yang banyak memberikan dukungan dan semangat tiada henti kepada penulis sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan.
6. Rekan penelitian penulis yakni Isyyatul Aufa, Lutfiatun Nidah dan Muzdalifah Nur Jannah.
7. Teman-teman angkatan 2011 yang selalu setia mendampingi penulis belajar dan menyusun tugas akhir.

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam laporan tugas akhir ini, namun penulis berharap semoga laporan tugas akhir yang ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 27 Juli 2015

Penulis



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Karakteristik Toksisitas Air Limbah.....	5
2.2 Karakteristik Air limbah Rumah Sakit.....	6
2.3 Fasilitas Rumah Sakit Umum Kelas B.....	13
2.4 Unit Pengolahan Biologis <i>Rotating Biologis Contactor</i> (RBC).....	19
2.5 Persyaratan Kualitas Efluen Rumah Sakit.....	22
2.6 Analisis Terdahulu.....	23
BAB 3 GAMBARAN UMUM WILAYAH STUDI	
3.1 Profil Singkat RSU Haji Surabaya.....	25
3.1.1 Sejarah, Visi dan Misi Rumah Sakit.....	25
3.1.2 Fasilitas Rumah Sakit.....	26
3.2 Pengolahan Air Limbah RSU Haji Surabaya.....	27
BAB 4 METODE PENELITIAN	
4.1 Kerangka Penelitian.....	35
4.2 Penentuan Ide Penelitian, Rumusan Masalah dan Tujuan.....	37
4.3 Studi Literatur.....	37
4.4 Pengumpulan Data.....	38
4.4.1 Pengumpulan Data Primer.....	38
4.4.2 Pengumpulan Data Sekunder.....	39

4.6	Penelitian Pendahuluan	40
4.6	Hasil dan Pembahasan	41
	4.6.1 Evaluasi Kinerja IPAL-Toksik	41
	4.6.2 Review Desain IPAL-Toksik	42
4.7	Kesimpulan dan Saran	47
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		
5.1	Penelitian pendahuluan.....	49
	5.1.1 Pengukuran Debit Air Limbah Harian	49
	5.1.2 Pengukuran dan Analisis Sampel Harian	50
	5.1.3 Perhitungan Efisiensi Removal.....	59
	5.1.4 Perhitungan <i>Mass Balance</i> Eksisting	61
5.2	Pengukuran Dimensi Bangunan	71
5.3	Evaluasi Kinerja	73
	5.3.1 Evaluasi Kinerja Bak Netralisasi.....	73
	5.3.2 Evaluasi Kinerja Unit RBC.....	74
	5.3.3 Evaluasi Kinerja Bak Pengendap	76
	5.3.4 Evaluasi Kinerja Unit Desinfeksi.....	77
5.4	<i>Review</i> Desain	79
	5.4.1 <i>Review</i> Desain Bak Netralisasi.....	79
	5.4.2 <i>Review</i> Desain Unit RBC.....	91
	5.4.3 <i>Review</i> Desain Bak Pengendap	104
	5.4.4 <i>Review</i> Desain Unit Desinfeksi.....	110
5.7	<i>Bill of Quantity</i> (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)	117
	5.5.1 BOQ dan RAB Tiap Unit	117
	5.5.2 Biaya Operasional Bulanan	119
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	Kesimpulan	123
6.2	Saran	124
DAFTAR PUSTAKA		125
Lampiran A Prosedur Analisis Laboratorium.....		131
Lampiran B Daftar Gambar		143
Lampiran C Dokumentasi Penelitian		157
Lampiran D Hasil Analisis Laboratorium		159
Lampiran E Spesifikasi Peralatan IPAL-Toksik.....		165
Lampiran F Peraturan Perundang-undangan.....		171
BIOGRAFI PENULIS		179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Distribusi Ammonia (NH_3) dan Ammonium (NH_4^+) dalam Fungsi pH	10
Gambar 2.2	Letak <i>Biofilm</i> , <i>Disk</i> dan <i>Stage</i>	20
Gambar 3.1	Gedung Utama dan Tower Arafah	27
Gambar 3.2	Skema IPAL-Toksik RSUD Haji Surabaya	28
Gambar 3.3	Bak Presipitasi dan Bak Netralisasi.....	30
Gambar 3.4	Pengendapan Lumpur di Bak Netralisasi	30
Gambar 3.5	Unit RBC dan Tangki Bahan Kimia	31
Gambar 3.6	Bak Pengendap dan Tangki Filter	32
Gambar 4.1	Kerangka Penelitian	36
Gambar 4.2	Lokasi Titik Sampling	39
Gambar 4.3	Skema IPAL-Toksik dengan Pergantian Unit....	45
Gambar 5.1	Tren Peningkatan Debit Harian	50
Gambar 5.2	Perbandingan Pengukuran pH dengan Baku Mutu.....	51
Gambar 5.3	Grafik Pengukuran Suhu dengan Baku Mutu....	52
Gambar 5.4	Grafik Pengukuran TSS dengan Baku Mutu	53
Gambar 5.5	Grafik Pengukuran COD dengan Baku Mutu	54
Gambar 5.6	Grafik Pengukuran BOD_5 dengan Baku Mutu ...	55
Gambar 5.7	Grafik Pengukuran $\text{NH}_3\text{-N}$ Bebas dengan Baku Mutu.....	56
Gambar 5.8	Grafik Pengukuran PO_4^{3-} dengan Baku Mutu ...	57
Gambar 5.9	Grafik Pengukuran <i>Total Coliform</i> /100 ml Air dengan Baku Mutu.....	58
Gambar 5.10	<i>Mass Balance</i> dengan Q Rata-rata dan Konsentrasi Rata-rata.....	70
Gambar 5.11	<i>Mass Balance</i> dengan Q Tertinggi dan Konsentrasi Rata-rata.....	70
Gambar 5.12	Tipe <i>Perpendicular</i> RBC.....	72
Gambar 5.13	Kurva Performa Pompa Penambahan Debit dan Pompa Grundfos NS Basic 3-40	86
Gambar 5.14	Kurva Performa Pompa Penguras Lumpur Bak Netralisasi dan Pompa Grundfos SLV.25.A25.30.....	89
Gambar 5.15	Filter Press.....	90
Gambar 5.16	Penentuan Nilai r/D dan Grafik Penentuan $f(A/A_w)$	98

Gambar 5.17	Grafik Hubungan Kemampuan Transfer Oksigen dengan Kebutuhan Energi Listrik	99
Gambar 5.18	Gambar Penampang <i>Disk</i>	101
Gambar 5.19	Grafik Hubungan Kecepatan Putaran dengan Persentase <i>Removal</i> COD	101
Gambar 5.20	Grafik Hubungan <i>Inner Radius</i> dengan Persentase <i>Removal</i> COD	102
Gambar 5.21	Kurva Performa Pompa Penguras Lumpur Bak Pengendap.....	109
Gambar 5.22	Tipe Pipa Pembubuh Klor	111
Gambar 5.23	Grafik Hubungan Waktu Kontak dengan Konsentrasi HOCl untuk Membunuh 99% <i>E. Coli</i> dan Virus	112
Gambar 5.24	<i>Dosing Pump</i> Pulsafeeder Chemtech 100/030 dan Tabung Pelarut	114



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Air Limbah Instalasi di Rumah Sakit	14
Tabel 2.2	Kriteria Desain RBC	22
Tabel 2.3	Baku Mutu Air Limbah	22
Tabel 2.4	Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3.1	Hasil Swapantau Efluen IPAL-Toksik.....	33
Tabel 4.1	Metode Analisis Sampel.....	40
Tabel 5.1	Pengukuran pH Rata-rata Tiap Titik.....	51
Tabel 5.2	Pengukuran Suhu Rata-rata Tiap Titik.....	52
Tabel 5.3	Konsentrasi TSS Rata-rata Tiap Titik.....	53
Tabel 5.4	Konsentrasi COD Rata-rata Tiap Titik.....	54
Tabel 5.5	Konsentrasi BOD ₅ Rata-rata Tiap Titik.....	55
Tabel 5.6	Konsentrasi NH ₃ -N bebas Rata-rata Tiap Titik	56
Tabel 5.7	Konsentrasi PO ₄ ³⁻ Rata-rata Tiap Titik	57
Tabel 5.8	Konsentrasi <i>Total Coliform</i> /100 ml Air Tiap Tiitk	58
Tabel 5.9	Konsentrasi Polutan Rata-rata Outlet Air Limbah.....	58
Tabel 5.10	Efisiensi <i>Removal</i> Rata-rata IPAL-Toksik	61
Tabel 5.11	Dimensi Bak Netralisasi	71
Tabel 5.12	Dimensi Bak Pengendap.....	73
Tabel 5.13	Efisiensi <i>Removal</i> Rata-rata Bak Netralisasi..	74
Tabel 5.14	Efisiensi <i>Removal</i> Tiap Parameter Unit RBC.	74
Tabel 5.15	Efisiensi <i>Removal</i> Rata-rata Bak Pengendap	77
Tabel 5.16	Evaluasi Kinerja Unit Desinfeksi	76
Tabel 5.17	<i>Removal</i> Polutan dengan Efisiensi Removal Kriteria Desain	77
Tabel 5.18	<i>Review</i> Desain Bak Netralisasi Kompartemen 1	81
Tabel 5.19	Kriteria Desain Bak Pengendap	81
Tabel 5.20	Konstanta Perhitungan Debit Lumpur	87
Tabel 5.21	<i>Review</i> Desain Bak Netralisasi Kompartemen 2 dan 3.....	91
Tabel 5.22	Kriteria Desain Unit RBC.....	92
Tabel 5.23	Perhitungan Rasio BOD ₅ /COD	93
Tabel 5.24	Perhitungan Rasio BOD:N:P	94

Tabel 5.25	Perhitungan BOD <i>Surface Loading</i>	95
Tabel 5.26	<i>Review</i> Desain Unit RBC	104
Tabel 5.27	Kriteria Desain Bak Pengendap	105
Tabel 5.28	<i>Review</i> Desain Bak Pengendap.....	110
Tabel 5.29	<i>Review</i> Desain Unit Desinfeksi	116
Tabel 5.30	BOQ dan RAB Bak Netralisasi.....	117
Tabel 5.31	BOQ dan RAB Bak Pengendap	118
Tabel 5.32	Rekapitulasi RAB	119
Tabel 5.33	Biaya Operasional Bulanan.....	122

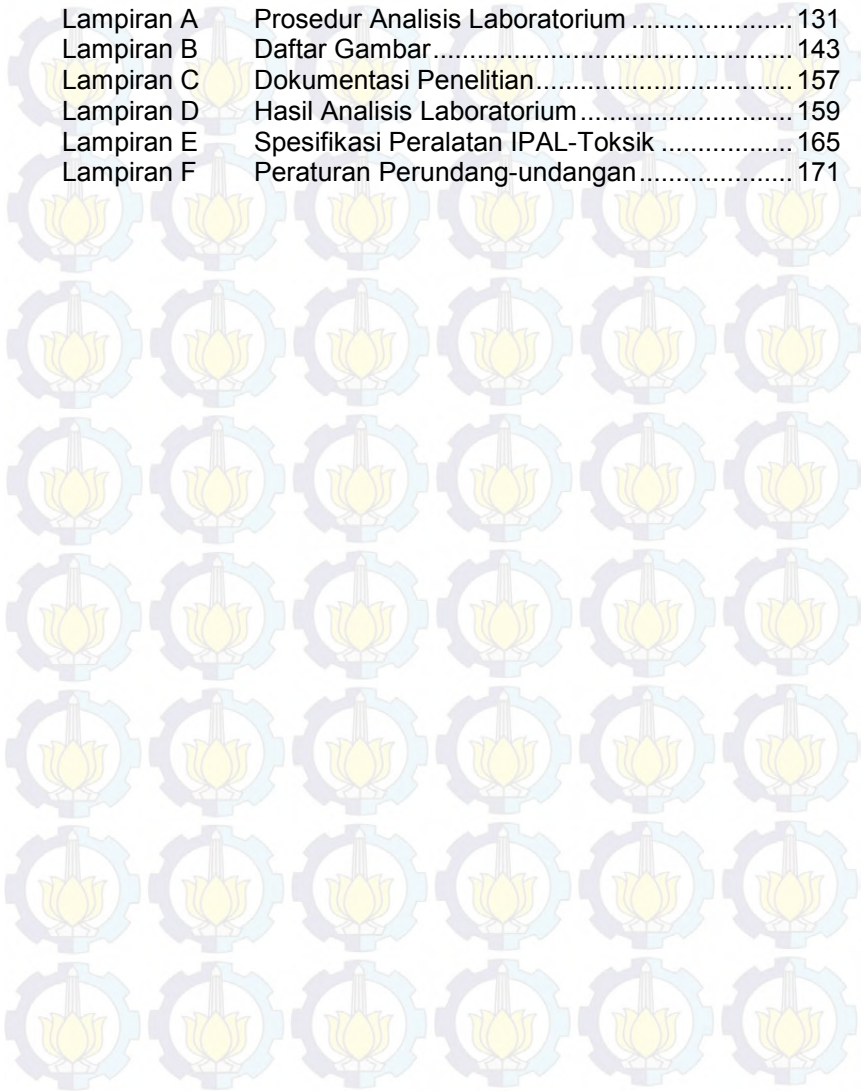
DAFTAR SINGKATAN

%R	: Persen Removal
β	: Jenis material
\emptyset	: Diameter
BLH	: Badan Lingkungan Hidup
BOD	: <i>Biochemical Oxygen Demand</i>
BOQ	: <i>Bill of Quantity</i>
C	: Karbon
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
DO	: <i>Dissolved Oxygen</i>
Eff/Eff.	: Effluen
HDPE	: <i>High Density Polyethylene</i>
HLR	: <i>Hydraulic Loading Rate</i>
HP	: <i>Horse Power</i>
HRT	: <i>Hydraulic Retention Time</i> (Waktu Tinggal)
Inf.	: Influen
mm	: milimeter
m	: meter
mg/L	: miligram per Liter
MgCl ₂	: Magnesium Klorida
mL	: mililiter
kW	: kilowatt
LWBP	: Luar Waktu Beban Puncak
MPN	: <i>Most Probable Number</i>
N	: Nitrogen
NaClO	: Natrium Hipoklorit (Kaporit)
NaOH	: Natrium Hidroksida
NFr	: Bilangan Froud
NH ₃	: Ammonia
NH ₃ -N	: Nitrogen-Ammonia
NH ₄ ⁺	: Ion Ammonium
NO ₂ ⁻	: Nitrit
NO ₃ ⁻	: Nitrat

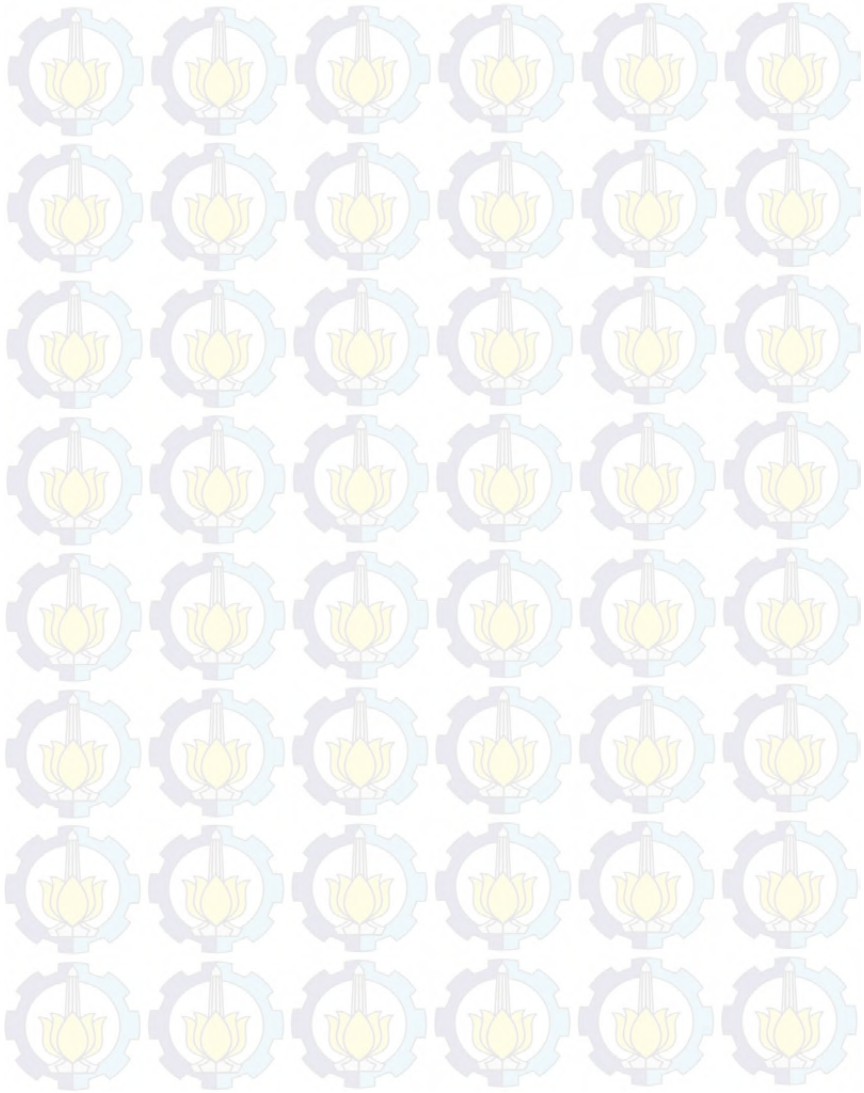
NRe	: Bilangan Reynold
IPAL	: Instalasi Pengolahan Air Limbah
OLR	: <i>Organic Loading Rate</i>
P	: Fosfat
pc/pcs	: piece/pieces (buah)
PE/PET	: <i>Polyethylene</i>
PO ₄ ³⁻	: Fosfat
PVC	: <i>Polyvinyl Chloride</i>
Q	: Debit
Q maks	: Debit Maksimum
R	: Jari-jari hidrolis
RAB	: Rencana Anggaran Biaya
RBC	: <i>Rotating Biological Contactor</i>
rpm (ω)	: Rotation per minute (rotasi per menit)
RSU	: Rumah Sakit Umum
RSUD	: Rumah Sakit Umum Daerah
SDM	: Sumber Daya Manusia
Sg	: <i>Spesific Gravity</i>
t	: Waktu
td	: <i>Time Detention (Waktu Tinggal)</i>
TKN	: <i>Total Kjedadhl Nitrogen</i>
TS	: <i>Total Solid</i>
TSS	: <i>Total Suspended Solid</i>
TT	: Tempat Tidur
UV	: Ultraviolet
V.	: Volume
v	: Kecepatan
vsc	: Kecepatan <i>Scouring</i>
WBP	: Waktu Beban Puncak
WIB	: Waktu Indonesia Barat

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Prosedur Analisis Laboratorium	131
Lampiran B	Daftar Gambar	143
Lampiran C	Dokumentasi Penelitian	157
Lampiran D	Hasil Analisis Laboratorium	159
Lampiran E	Spesifikasi Peralatan IPAL-Toksik	165
Lampiran F	Peraturan Perundang-undangan	171



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rumah sakit merupakan fasilitas umum dalam bidang pelayanan kesehatan yang harus mempunyai kemampuan dalam pengolahan air limbah. Menurut Pujiati (2006) meningkatnya limbah medis yang dihasilkan oleh suatu rumah sakit seiring dengan peningkatan jumlah pelayanan yang dimiliki. Air limbah rumah sakit berasal dari unit pelayanan medis, unit penunjang medis, unit farmasi serta perkantoran yang ada di lingkungan rumah sakit. Berdasarkan sifatnya, air limbah yang dihasilkan rumah sakit berupa limbah domestik dan limbah medis. Limbah farmasi juga merupakan salah satu jenis limbah diolah dalam instalasi pengolahan air limbah (Escher, *et al.*, 2010). Air limbah dari instalasi farmasi perlu diolah sebelum dibuang ke badan air agar memenuhi tidak mengganggu kualitas lingkungan (Deblonde, *et al.*, 2011).

Rumah Sakit Umum (RSU) Haji Surabaya merupakan salah satu rumah sakit kelas B-pendidikan yang berada di Kota Surabaya. Rumah sakit ini memiliki dua (2) unit pengolahan air limbah. Unit IPAL non toksik merupakan unit IPAL yang mengolah air limbah dari *grey water* dan efluen tangki septik dari ruang inap pasien, ruang operasi, kantor dan paviliun. Unit IPAL-Toksik merupakan unit IPAL yang mengolah air limbah *grey water* dan *black water* dari Gedung Arafah. Unit IPAL non toksik menggunakan unit pengolahan biologis berupa *Activated Sludge* sedangkan IPAL-Toksik menggunakan unit pengolahan biologis berupa *Rotating Biological Contactor* (RBC). Efluen pada masing-masing IPAL selanjutnya dibuang menuju badan sungai terdekat melalui drainase.

Menurut Suparmadja (2014) didapatkan hasil pengukuran laboratorium untuk efluen IPAL RSU Haji Surabaya secara keseluruhan yakni, BOD₅ sebesar 36,5 mg/L, COD sebesar 108,9 mg/L, NH₃-N bebas sebesar 0,54 mg/L dan PO₄³⁻ sebesar 3,58 mg/L dengan rasio BOD₅/COD influen pengolahan biologis kurang dari 0,5. Apabila dibandingkan dengan baku mutu

Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72/2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya didapatkan hasil bahwa pengolahan air limbah masih belum memenuhi baku mutu, yakni BOD₅ sebesar 30 mg/L, COD sebesar 80 mg/L, NH₃-N bebas sebesar 0,1 dan PO₄³⁻ sebesar 2 mg/L dengan rasio BOD₅/COD minimal untuk influen pengolahan biologis lebih dari 0,5.

Fluktuasi konsentrasi tiap parameter pada efluen pengolahan air limbah yang tidak memenuhi baku mutu juga ditemukan di IPAL RSUD Nganjuk dalam Rahmawati dan Azizah (2005) bahwa beberapa parameter masih belum memenuhi baku mutu, rasio BOD₅/COD influen pengolahan biologis sebesar 0,31 dengan efluen BOD₅ sebesar 39 mg/L, COD sebesar 85 mg/L dan nilai Total Coliform/100 mL air sebesar 16.000 MPN Index/100 ml. Pada RSUD Dr. M. Soewandhi Surabaya juga didapatkan data berupa rasio BOD₅/COD influen pengolahan biologis sebesar 0,4 dengan efluen BOD₅ sebesar 80,6 mg/L dan COD sebesar 203,57 mg/L (Akbar dan Sudarmaji, 2012). Parameter NH₃ tidak memenuhi baku mutu pada IPAL RS. GMIM Kota Tomohon, yakni sebesar 28,25 mg/L (Kolibu dan Tewel, 2013).

Berdasarkan pengukuran air limbah dari beberapa IPAL rumah sakit diatas, didapatkan data bahwa terdapat nilai rasio BOD₅/COD influen yang dibawah 0,5. Nilai rasio BOD₅/COD influen yang dibawah 0,5 menyebabkan air limbah yang diolah bersifat toksik terhadap mikroorganisme pengurai. Apabila mikroorganisme pengurai pada pengolahan biologis terpapar oleh air limbah yang bersifat toksik, pengolahan biologis tersebut tidak berjalan dengan baik dan akan berpengaruh pada proses pengolahan berikutnya. Saat ini, belum diketahui kinerja IPAL-Toksik RSU Haji Surabaya dalam mengolah air limbah. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi kinerja berdasarkan efisien *removal* tiap unit pengolahan air limbah IPAL-Toksik serta *review* desain berdasarkan kriteria desain tiap unit di IPAL-Toksik agar nantinya dapat mengolah air limbah dengan baik pada masa yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang diangkat adalah:

1. Perlu adanya evaluasi kinerja proses instalasi pengolahan air limbah IPAL-Toksik RSUD Haji Surabaya.
2. *Review* desain tiap unit bangunan pada unit IPAL-Toksik agar efluen IPAL-Toksik memenuhi dengan baku mutu yang dipersyaratkan.
3. Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam penerapan *review* desain.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Mengevaluasi kinerja proses pengolahan air limbah RSUD Haji Surabaya.
2. Meninjau ulang desain tiap unit bangunan pada unit IPAL-Toksik agar efluen IPAL-Toksik memenuhi dengan baku mutu yang dipersyaratkan.
3. Menghitung *Bill of Quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam penerapan *review* desain.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai evaluasi kinerja dan *review* desain air limbah rumah sakit IPAL RSUD Haji Surabaya dan rumah sakit umum kelas B pada umumnya.
2. Memberikan saran agar efluen IPAL memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan, yakni berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72/2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

1. Lokasi penelitian berada pada IPAL-Toksik (RBC) RSU Haji Surabaya.
2. Data primer yang diambil berupa pengambilan sampel pada 4 titik, yakni inlet IPAL-Toksik, influen unit pengolahan biologis, efluen unit pengolahan biologis dan outlet IPAL-Toksik. Data sekunder diambil dari hasil pemantauan oleh operator IPAL dan Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Surabaya pada rentang 1 tahun terakhir.
3. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengukur parameter efluen yang terdapat pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72/2013, yakni suhu, pH, BOD₅, COD, TSS, NH₃-N bebas, PO₄³⁻ dan total coliform/100 mL air. Penelitian pendahuluan dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
4. Prosedur penelitian yang digunakan mengacu pada *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 20th Edition* (2005).
5. Obyek yang dikaji berupa efisiensi pengolahan tiap unit sebagai kriteria evaluasi kinerja dan kriteria desain tiap unit sebagai kriteria *review* desain.
6. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2015.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Toksisitas Air Limbah

Toksisitas didefinisikan sebagai tingkat sifat mematikan dari suatu zat. Apabila terdapat zat atau makhluk hidup lain terpapar oleh zat tersebut pada konsentrasi tertentu, maka makhluk hidup tersebut dapat mati. Zat yang memiliki sifat mematikan pada konsentrasi tertentu disebut zat toksik. Keberadaan mikroorganisme memegang peranan penting dalam keseluruhan proses pengolahan karena mampu menurunkan konsentrasi polutan rumah sakit yang mengandung kandungan organik yang tinggi (Sponza and Demirden, 2010) dan dapat menurunkan sejumlah koloni bakteri patogenik (Korzeniewska, *et al.*, 2013).

Mikroorganisme yang hidup dalam unit pengolahan biologis berupa bakteri yang berbentuk filamen yang hidup dari air limbah domestik (Tchobanoglous, *et al.*, 2002). Aktivitas mikroorganisme dipengaruhi oleh metabolisme mikroorganisme, jumlah nutrisi dan keberadaan inhibitor. Metabolisme mikroorganisme dipengaruhi oleh daur hidup mikroorganisme. Nutrisi merupakan nutrisi yang dibutuhkan mikroorganisme untuk melangsungkan kehidupan, yakni unsur N dan P. Konsentrasi nutrisi N dan P yang tidak dapat terserap dengan baik oleh mikroorganisme akan mengganggu kinerja enzim *hydrolytic* yang berperan dalam transfer makanan melalui dinding sel dan enzim *dehydrogenases* yang berperan dalam akseptor elektron (Benefield and Randall, 1980). Kegagalan penyerapan nutrisi N dan P menyebabkan fase hidup bakteri berada pada titik stasioner (Tchobanoglous *et al.*, 2002).

Selain unsur N dan P, mikroorganisme dapat hidup dengan baik apabila terdapat komposisi antara BOD dengan COD yang seimbang, yakni $> 0,5$ dengan rasio ideal diatas $0,55$ (Lin, 1999). Apabila rasio BOD_5/COD lebih dari sama dengan $0,5$ maka air limbah tersebut dapat diuraikan dengan mikroorganisme (Benefield and Randall, 1980). Apabila kurang dari $0,5$, maka perlu adanya pengolahan khusus sebelum dilakukan pengolahan

dengan pengolahan biologis (Lin, 1999). Limbah laboratorium memiliki nilai COD yang tinggi hingga 360 mg/L (Suprihatin dan Indrasti, 2010). Untuk menurunkan air limbah yang memiliki kandungan COD yang tinggi dapat menggunakan metode presipitasi dengan bantuan bahan kimia seperti garam-garaman dan karbon aktif (Lin, 1999).

Kondisi inhibitor merupakan faktor lingkungan yang berada disekitar habitat mikroorganisme. Faktor lingkungan yang mempengaruhi antara lain suhu dan nilai pH. Kedua faktor tersebut mempengaruhi reaksi kimia yang mendukung proses pertumbuhan mikroorganisme. Mikroorganisme dengan jenis mesofilik akan mencapai laju pertumbuhan maksimum pada suhu optimum, yakni pada suhu 15°-25° (Benefield and Randall, 1980). Nilai pH yang optimum diperoleh dari sumber air limbah berasal. Limbah laboratorium juga dapat dikategorikan menjadi limbah kimia berbahaya karena memiliki nilai pH yang ekstrem rendah. (Suprihatin dan Indrasti, 2010). Faktor lingkungan lain yang berperan adalah keberadaan oksigen. Namun, hal ini berpengaruh pada proses pengolahan biologis apa yang digunakan (Tchobanoglous *et al*, 1999).

2.2 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit

Air limbah diolah dalam tiga tahap pengolahan berupa pengolahan pendahuluan, pengolahan biologis dan klorinasi atau ozonasi (Escher, *et al.*, 2010). Pengolahan pendahuluan meliputi pengolahan secara fisik. Setelah melewati pengolahan pendahuluan, dilanjutkan dengan pengolahan biologis dan klorinasi. Fasilitas-fasilitas yang membuang air limbah di rumah sakit berasal dari kamar inap pasien, ruang operasi, laboratorium, unit administrasi, binatu, fasilitas perawatan kesehatan, dapur, dan kamar mandi (Mahvi, *et al.*, 2009).

Karakteristik air limbah di rumah sakit secara umum dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan karakteristik dan sifatnya, yakni air limbah domestik dan air limbah medis. Air limbah domestik merupakan air limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Berdasarkan asalnya, air limbah domestik dibedakan menjadi dua, yakni *grey water* dan *black water*. *Grey water*

merupakan air limbah yang berasal dari pembuangan *floor drain*, wastafel dan air cucian, sedangkan *black water* berasal dari hasil ekskresi manusia. Air limbah domestik mengandung makrosolid, partikel organik, partikel anorganik dan bakteri patogen maupun tidak. Tingkat konsentrasi polutan berupa parameter polutan fisik, kimia maupun biologis menentukan kualitas air limbah yang dibuang.

a) Karakteristik Air Limbah Domestik

Air limbah domestik menurut Fair, *et al.* (1981) berasal dari air bekas pembuangan dapur, kamar mandi, toilet dan binatu dimana air limbah domestik tersebut mengandung hasil ekskresi manusia, tisu, keras, sabun, kotoran, sisa-sisa makanan yang terangkut, dan material lain. Air limbah memiliki bentuk yang tersuspensi, terlarut maupun membentuk kolosal. Kandungan mikroorganisme saprofit yang tinggi menyebabkan air limbah domestik memiliki sifat tidak stabil, mudah diuraikan oleh mikroorganisme, mudah membusuk dan memiliki bau yang menyengat. Berikut ini merupakan karakteristik parameter pengukur air limbah.

- Total Suspended Solid (TSS)

Kandungan padatan tersuspensi atau *Total Suspended Solid* (TSS) merupakan bagian dari *Total Solid* (TS) yang diukur dengan menguapkan sampel air ke dalam oven bersuhu 105°C (Tchobanoglous, *et al.*, 2002). Parameter ini berasal dari partikel organik maupun anorganik yang tidak larut di dalam air, baik yang tersuspensi maupun yang melayang di dalam air. Parameter ini diukur untuk mengetahui efektivitas dari masing-masing unit pengolahan. Parameter ini dinyatakan dalam bentuk mg/L.

Warna air limbah akan berubah seiring dengan waktu menjadi kecokelatan hingga kehitaman. Tingkat kepekatan warna air limbah bergantung pada kandungan padatan (TSS) yang ada didalamnya. Semakin pekat warna air limbah maka nilai TSS semakin tinggi. Bau yang ditimbulkan oleh air limbah berasal dari gas hidrogen sulfida (H_2S) yang berasal dari proses pengolahan anaerobik di dalam kondisi pH yang rendah. Munculnya bau

tersebut menunjukkan bahwa kondisi air limbah tersebut minim oksigen dan dapat mengganggu aktivitas manusia disekitarnya.

Kondisi dari air limbah diketahui dari warna dan bau yang ditimbulkan. Warna dan bau yang berubah-ubah berasal dari partikel organik yang terurai maupun partikel anorganik yang terkandung didalamnya. Air limbah yang menjadi influen awal umumnya berwarna abu-abu kecokelatan. Pengukuran warna diukur secara kualitatif yakni dengan pengamatan langsung di lapangan.

Karakteristik kimiawi air limbah diketahui berdasarkan parameter derajat keasaman (pH), alkalinitas, kebutuhan oksigen biokimiawi (BOD), kebutuhan oksigen kimiawi (COD), nutrisi bakteri berupa unsur N dan P. Kandungan kimiawi air limbah bergantung pada kandungan partikel organik maupun anorganik. Berikut ini merupakan penjelasan masing-masing parameter.

- pH

Derajat keasaman atau pH menunjukkan konsentrasi ion hidrogen yang terdapat pada air limbah. Nilai pH air menunjukkan apakah air limbah tersebut berada pada kondisi asam atau basa. Nilai pH dapat diukur secara langsung di lapangan dengan menggunakan alat berupa pH meter yang disertai dengan termometer. Perhitungan untuk mengetahui nilai pH menggunakan persamaan:

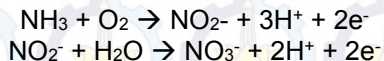
$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Rentang nilai pH berada pada nilai 0 hingga 14 yang menunjukkan bahwa semakin kecil nilai pH menunjukkan air limbah berada pada kondisi asam dan sebaliknya, semakin tinggi nilai pH maka menunjukkan bahwa air limbah berada pada kondisi basa. Air limbah pada kondisi pH dibawah 5 dan diatas 9 lebih sukar diolah secara langsung. Oleh karena itu, perlu adanya bak netralisasi untuk menyesuaikan nilai pH air limbah sebelum diolah pada pengolahan selanjutnya. Efluen pengolahan harus berada rentang pH yang diizinkan, yakni 6 - 9.

- Nitrogen dan Fosfor (N dan P)

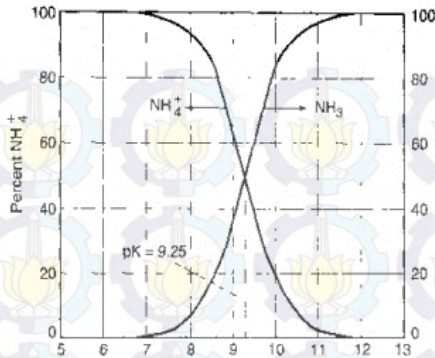
Unsur nitrogen dan fosfor merupakan unsur-unsur yang diperlukan oleh mikroorganisme sebagai nutrisi utama. Nitrogen dibutuhkan mikroorganisme untuk sintesis protein pada dinding sel bakteri, sedangkan fosfor dibutuhkan sebagai transfer energi antar sel. Unsur nitrogen berasal dari ekskresi manusia pada air limbah domestik. Pada air limbah saat kondisi baru dibuang, kandungan nitrogen ditemukan dalam bentuk albumin. Nitrogen dalam bentuk albumin tersebut akan mengalami dekomposisi menjadi molekul yang lebih kecil.

Kandungan ammonium (NH_4^+) berasal dari ammonia (NH_3) yang larut didalam air limbah pada pH yang rendah. Ammonium selanjutnya akan terdekomposisi menjadi nitrit yang toksik (NO_2^-) dan kembali terdekomposisi menjadi nitrat yang tidak toksik (NO_3^-). Proses ini dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*, yang disebut nitrifikasi. Reaksi yang terjadi selama nitrifikasi antara lain:



Kandungan albumin dan ammonium dalam air apabila dijumlahkan dapat menjadi nilai nitrogen organik total atau Total Kjedahl Nitrogen (TKN). Total Kjedahl Nitrogen (TKN) dinyatakan dalam mg/L. Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan distribusi ammonia dan ammonium dalam air limbah bergantung pada pH.

Fosfor yang terdapat pada air limbah dapat berupa ortofosfat, polifosfat dan fosfat organik. Ortofosfat ditemukan dalam bentuk PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , dan H_3PO_4 . Polifosfat merupakan molekul yang tersusun atas atom fosfor dan oksigen. Pertumbuhan mikroorganisme bergantung pada rasio C:N:P, yakni sebesar 100:5:1. Apabila kandungan fosfor tinggi maka proses pengolahan dapat terganggu akibat pertumbuhan alga yang pesat (*alga growth*).

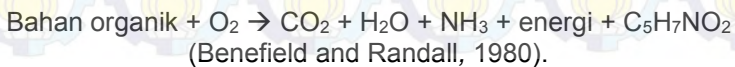


Gambar 2.1 Distribusi Ammonia (NH_3) dan Ammonium (NH_4^+) dalam Fungsi pH
sumber: Tchobanoglous *et al.*, 2002

- Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Kebutuhan oksigen kimiawi atau *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan parameter yang umum digunakan untuk mengukur kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi semua partikel organik yang terkandung di dalam air limbah dengan menggunakan larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebagai oksidator. Kebutuhan oksigen biokimiawi atau *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kebutuhan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk melakukan oksidasi biokimiawi partikel organik yang ada di dalam air limbah. Parameter BOD yang umum digunakan adalah BOD 5 hari (BOD_5).

Nilai COD lebih besar daripada nilai BOD. Perbandingan antara nilai BOD dan COD dapat digunakan untuk menentukan jenis pengolahan yang tepat. Apabila rasio BOD_5/COD lebih besar daripada 0,5, maka air limbah dapat diolah secara biologis. Parameter BOD dan COD dinyatakan dalam mg/L. Proses oksidasi dapat dilihat pada reaksi kimia dibawah ini



b) Karakteristik Air Limbah Medis

Air limbah medis didefinisikan sebagai limbah yang dihasilkan oleh institusi biomedis, diantaranya adalah rumah sakit, laboratorium medis, rumah sakit hewan dan klinik (Landrum, *et al.*, 2001). Komponen limbah medis yang memerlukan pengolahan lebih lanjut yakni berupa limbah kimia sitotoksik, limbah kimia berbahaya, patogen, dan bahan kimia dari hasil laboratorium. Limbah laboratorium juga dapat dikategorikan menjadi limbah kimia berbahaya karena memiliki nilai pH yang ekstrem rendah dan memiliki kadar logam berat terlarut yang tinggi. Limbah jenis ini juga memiliki nilai COD yang tinggi (Suprihatin and Indrasti, 2010).

Limbah medis yang berasal dari limbah farmasi memiliki kandungan warna yang berbeda dengan limbah pada umumnya. Kandungan warna yang terkandung dalam obat-obatan mudah larut dalam air. Obat-obatan memiliki warna tertentu agar mudah dibedakan pada saat proses pembuatan, pengemasan dan distribusi. Pada limbah farmasi yang terbuang pada sistem penyaluran air limbah, warna obat-obatan tersebut ikut membuat warna limbah cair berubah-ubah. Pewarna yang digunakan berasal dari tumbuhan, hewan, mineral alam dan bahan sintetik (Schoneker, 2013). Secara global, penggunaan pewarna pada obat-obatan, makanan, kosmetik dan alat-alat medis diatur oleh WHO.

Tidak semua jenis obat-obatan mengandung semua jenis warna. Penambahan warna disesuaikan pada saat produksi dan bersifat spesifik untuk masing-masing jenis obat-obatan. Hal ini bergantung pada industri farmasi sebagai produsen obat-obatan. Jenis-jenis pewarna yang umum digunakan adalah *Allura Red AC*, *Tartrazine* dan *Carmoisine*. Material anorganik yang juga umum digunakan sebagai pewarna pada obat-obatan dapat berasal mineral bebatuan yang ditemukan di alam. (Schoneker, 2013). Kriteria yang harus dipenuhi saat penambahan pewarna antara lain:

- Pewarna tidak reaktif dengan komposisi kimiawi obat-obatan, makanan, kosmetik dan alat-alat medis

- Pewarna yang digunakan berada dalam kondisi stabil komposisi kimiawinya
- Pewarna mudah menyatu dengan obat-obatan, makanan, kosmetik dan alat-alat medis
- Pewarna memenuhi kriteria estetika yang ada
- Pewarna tidak mempengaruhi rasa dan bau saat digunakan

Menurut data yang didapatkan oleh Landrum, *et al.*, (1991) kandungan limbah medis yang bersifat infeksius berasal dari limbah mikrobiologi, laboratorium, patologi, darah manusia, benda-benda tajam yang ikut terbuang, potongan tubuh yang terkontaminasi, limbah dari ruang operasi, limbah dari ruang perawatan penyakit menular, unit dialisis dan peralatan medis yang terkontaminasi. Tidak semua limbah medis masuk ke dalam saluran pembuangan. Potongan tubuh dari autopsi dan *disinfectant agent* merupakan limbah yang umum ditemukan dalam saluran pembuangan untuk diolah dalam IPAL.

Pembuangan limbah cair laboratorium kedalam saluran pembuangan IPAL juga menjadi sumber pencemar yang diolah dalam IPAL. Logam berat yang terbuang menjadi limbah umumnya dapat berupa timbal, kadmium, dan merkuri (Landrum, *et al.*, 1991). Unit-unit di rumah sakit yang membuang limbah pelarut adalah laboratorium, patologi, histologi, dan perawatan. Pelarut digunakan sebagai pelicin alat-alat medis, pembersihan, preservasi spesimen dan ek stasi dalam laboratorium. Formalin digunakan dalam membersihkan unit *reverse osmosis* (RO) pada instalasi pemulihan air atau alat haemodialisis untuk proses dialisis selain dengan larutan hidrogen peroksida. Selain itu, larutan ini digunakan untuk mengawetkan spesimen dan a utopsi jenazah. dibuang kedalam saluran pembuangan Dalam pengolahan limbah, pelarut dibedakan menjadi pelarut berhalogenasi dan tidak berhalogenasi. Pelarut yang ditemukan antara lain:

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| - Aseton atau $(CH_3)_2CO$ | - Metil selosolf atau $C_3H_8O_2$ |
| - 2-Butanol atau $C_4H_{10}O$ | - Petroleum eter |
| - Butil alkohol atau C_4H_9OH | - 2-Propanol atau C_3H_8O |
| - Sikloheksana atau C_6H_{12} | |

- Etil asetat atau $C_4H_8O_2$
- Etanol atau C_2H_6O
- Heptana atau C_7H_{16}
- Heksana atau C_6H_{14}
- Metil alkohol atau CH_4O
- Pentana atau C_5H_{12}
- Xylene atau C_8H_{10}
- Sec-butil alkohol atau $CH_3CH(OH)CH_2CH_3$
- Terbutil alkohol atau $C_4H_{10}O$
- Tetrahidrofuran atau C_4H_8O
- Prekursor dioxin

2.3 Fasilitas Rumah Sakit Umum Kelas B

Fasilitas RSU kelas B berupa peralatan, sarana dan prasarana dibagi menjadi 3 bagian, antara lain:

- Fasilitas pelayanan medis dan perawatan, meliputi instalasi rawat jalan, gawat darurat, rawat inap, perawatan intensif, instalasi bedah, kebidanan dan penyakit kandungan, rehabilitasi medis, unit haemodialisis, radiologi, dan instalasi kedokteran nuklir.
- Fasilitas penunjang dan operasional, Fasilitas penunjang medis berupa instalasi farmasi, instalasi radiodiagnostik, laboratorium, bank darah/unit transfusi darah, instalasi diagnostik terpadu, dan pemulasaraan jenazah dan forensik. Fasilitas penunjang non-medis meliputi instalasi sterilisasi pusat, instalasi dapur utama dan gizi klinik, binatu, instalasi sanitasi dan instalasi pemeliharaan sarana.
- Fasilitas administrasi dan manajemen, meliputi unsur administrasi RS, pelayanan medis dengan minimal 200 tempat tidur (TT), pelayanan penunjang medis, pelayanan keperawatan, pendidikan dan pelatihan, administrasi umum dan keuangan, SDM, komite medis serta komite etik dan hukum.

Masing-masing instalasi memiliki kebutuhan ruang dan utilitas yang berbeda. Terdapat beberapa fasilitas di dalam rumah sakit yang menghasilkan air limbah, baik toksik maupun non toksik. Tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan fasilitas yang menghasilkan air limbah.

Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah Instalasi di Rumah Sakit

No	Instalasi*	Nama Ruangan	Fungsi	Jenis Air Limbah**
1.	Instalasi Rawat Jalan	R. Tindakan Bedah Umum	Ruang yang digunakan untuk melakukan tindakan pembedahan kecil	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia - Cairan tubuh - Jaringan tubuh - Urine - Feses - Deterjen - Alkohol Denat
		R. Tindakan Bedah Tulang	Ruang yang digunakan untuk melakukan tindakan pembedahan pada tulang	
		R. Tindakan Kebidanan dan Penyakit Kandungan	Ruang yang digunakan untuk melakukan tindakan kebidanan dan penyakit kandungan	
2.	Instalasi Gawat Darurat	R. Radiologi Cito	Ruang yang digunakan untuk melaksanakan kegiatan diagnostik cito	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia yang tercemar - Cairan tubuh - Jaringan tubuh - Glutaraldehida atau $\text{CH}_2(\text{CH}_2\text{CHO})_2$ - Iodophor - Alkohol Denat
		Laboratorium	Ruang pemeriksaan laboratorium yang bersifat segera	
		<i>Spoolhoek</i>	Fasilitas untuk membuang kotoran bekas pasien khususnya yang berupa cairan. <i>Spoolhoek</i> berupa kloset dengan leher angsa	
		R. Sterilisasi	Ruang yang digunakan untuk sterilisasi instrumen medis	

No	Instalasi*	Nama Ruangan	Fungsi	Jenis Air Limbah**
3.	Instalasi Rawat Inap	<i>Spoolhoek</i>	Fasilitas untuk membuang kotoran bekas pasien khususnya yang berupa cairan. <i>Spoolhoek</i> berupa kloset dengan leher angsa	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia - Cairan tubuh - Jaringan tubuh - Urine - Feses
4.	Instalasi Perawatan Intensif	<i>Spoolhoek</i>	Fasilitas untuk membuang kotoran bekas pasien khususnya yang berupa cairan. <i>Spoolhoek</i> berupa kloset dengan leher angsa	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia - Butil alkohol atau C_4H_9OH - <i>Phenolic</i> atau C_6H_5OH
5.	Instalasi Bedah Sentral	<i>Scrub station</i>	Ruang cuci tangan tenaga kesehatan yang mengikuti kegiatan dalam kamar bedah	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia yang tercemar - Cairan tubuh - Jaringan tubuh - Deterjen - <i>Quaternary ammonium action</i> atau NR_4^+ - Pelarut
		R. Sterilisasi	Ruang yang digunakan untuk sterilisasi instrumen yang diperlukan untuk pembedahan.	
		<i>Spoolhoek</i>	Fasilitas untuk membuang kotoran bekas pasien khususnya yang berupa cairan. <i>Spoolhoek</i> berupa kloset dengan leher angsa	
6.	Instalasi Kebidanan dan Penyakit Kandungan	<i>Scrub station</i>	Ruang cuci tangan tenaga kesehatan yang mengikuti kegiatan dalam kamar bedah	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia yang tercemar - Cairan tubuh - Jaringan tubuh - Deterjen
		R. Sterilisasi	Ruang yang digunakan untuk sterilisasi instrumen yang	

No	Instalasi*	Nama Ruangan	Fungsi	Jenis Air Limbah**
			diperlukan untuk instalasi kebidanan dan penyakit kandungan	<ul style="list-style-type: none"> - Urine - Feses - Pelarut
		<i>Spoolhoek</i>	Fasilitas untuk membuang kotoran bekas pasien khususnya yang berupa cairan. <i>Spoolhoek</i> berupa kloset dengan leher angsa	
		R. Kebersihan	Ruang yang digunakan untuk penyimpanan peralatan kebersihan	
7.	Instalasi Rehabilitasi Medis	<i>Spoolhoek</i>	Fasilitas untuk membuang kotoran bekas pasien khususnya yang berupa cairan. <i>Spoolhoek</i> berupa kloset dengan leher angsa	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia yang tercemar - Cairan tubuh - Jaringan tubuh
8.	Unit Haemodialisis	R. RO dan Sterilisasi UV	Ruang yang digunakan untuk menampung tangki air harian dan filter UV	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia yang tercemar - Cairan tubuh - Formalin - Peracetic Acid atau $C_2H_4O_3$
		R. Pencucian Filter	Ruang yang digunakan untuk membersihkan filter agar dapat digunakan kembali	
		<i>Spoolhoek</i>	Fasilitas untuk membuang kotoran bekas pasien khususnya yang berupa cairan. <i>Spoolhoek</i>	

No	Instalasi*	Nama Ruangan	Fungsi	Jenis Air Limbah**
			berupa kloset dengan leher angsa	
9.	Instalasi Radioterapi	R. <i>Moulding</i>	Ruang yang digunakan untuk membuat cetakan bagian tubuh yang akan dilakukan penyinaran	- Peracetic Acid atau $C_2H_4O_3$
10.	Instalasi Kedokteran Nuklir	R. Dekontaminasi	Ruang yang digunakan untuk terkontaminasi petugas setelah menyiapkan radiofarmaka	- <i>Phenolic</i> atau C_6H_5OH
		R. Penanganan Air Limbah	Ruang yang digunakan untuk mengisolasi air limbah	
11.	Instalasi Radiodiagnostik	R. <i>Automatic Film Processor</i>	Ruang yang digunakan untuk memproses film	Tidak ada
12.	Laboratorium	Laboratorium Sero-Imunologi	Ruang pemeriksaan sero-imunologi	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia yang tercemar - Cairan tubuh - Jaringan tubuh - Deterjen - Peracetic Acid atau $C_2H_4O_3$ - Ethylene oxide atau C_2H_4O - Hydrogen Peroxide atau H_2O_2 - Pelarut
		Laboratorium Kimia Klinik	Ruang pemeriksaan kimia klinik	
		Laboratorium Hematologi	Ruang pemeriksaan hematologi	
		Laboratorium Mikrobiologi	Ruang pemeriksaan mikrobiologi	
		Laboratorium Urinalis	Ruang pemeriksaan urine	
		R. Cuci Peralatan	Ruang yang digunakan untuk pencucian reagen bekas pakai	
13.	Bank Darah/Unit Transfusi Darah	Laboratorium Screening	Ruang pemeriksaan kualitas dan keamanan darah	- Darah manusia yang tercemar

No	Instalasi*	Nama Ruangan	Fungsi	Jenis Air Limbah**
				<ul style="list-style-type: none"> - Cairan tubuh - Jaringan tubuh - Ethylene oxide atau C₂H₄O
14.	Instalasi Pemulasaraan Jenazah	Laboratorium Autopsi	Ruang kegiatan autopsi jenazah	<ul style="list-style-type: none"> - Deterjen
15.	Instalasi Sterilisasi Pusat	R. Dekontaminasi	Ruang yang digunakan sebagai tempat perendaman, pencucian, dan pengeringan instrumen	<ul style="list-style-type: none"> - Darah manusia yang tercemar
		R. Pengemasan Alat	Ruang yang digunakan untuk mengemas dan menampung alat-alat yang akan disterilisasi	<ul style="list-style-type: none"> - Cairan tubuh - Jaringan tubuh - Deterjen
		R. Sterilisasi	Ruang yang digunakan untuk sterilisasi instrumen dan linen	<ul style="list-style-type: none"> - Urine - Feses
		R. Pencucian Perlengkapan	Ruang yang digunakan untuk tempat pencucian perlengkapan yang tidak perlu disterilkan	<ul style="list-style-type: none"> - Peracetic Acid atau C₂H₄O₃
16.	Binatu	R. Dekontaminasi Linen	Ruang yang digunakan untuk melakukan pembilasan awal, perendaman dan pembilasan akhir	<ul style="list-style-type: none"> - Deterjen

Sumber: * Pusat Sarana, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan (2010)

** Rutala *et al.* (2008), Brown (1997)

2.4 Unit Pengolahan Biologis *Rotating Biological Contactor (RBC)*

Proses pengolahan air limbah secara fisik hanya dapat menghilangkan partikel organik terlarut maupun tidak terlarut, pengendapan fosfat maupun pengendapan partikel diskrit. Oleh karena itu, dibutuhkan proses pengolahan air limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk menghilangkan kandungan organik yang tidak dapat diendapkan oleh proses pengolahan fisik (Lin, 1999). Proses pengolahan secara biologis dibedakan dalam dua (2) jenis, yakni proses pengolahan dengan sistem pengendapan (*suspended growth*) dan sistem terlekat pada media (*attached growth*). Salah satu unit pengolahan biologis yang umum digunakan dalam proses pengolahan biologis di rumah sakit adalah unit *Rotating Biological Contactor (RBC)*. Kelebihan dari penggunaan unit RBC antara lain memiliki luas permukaan yang tinggi, konsumsi energi listrik yang rendah dan tidak membutuhkan operasional yang rumit (Ebrahimi, *et al.*, 2009).

Unit RBC memanfaatkan mikroorganisme pengolah air limbah yang menempel pada permukaan *disk* yang berputar. *Disk* merupakan bagian yang berfungsi sebagai media. Diameter RBC berkisar sebesar 3,5 m dengan panjang 7,5 m. Luas permukaan yang dimiliki sebesar 9.300 m². Unit RBC merupakan unit pengolahan pabrikan dimana masing-masing bagian unit tidak dapat terpisahkan dari unit RBC itu sendiri. Bagian-bagian unit RBC antara lain:

- *Shaft*,
Shaft merupakan bagian yang mendukung perputaran cakram atau *disk*. Panjang maksimal *shaft* sebesar 8,23 m dengan 7,62 m berguna untuk menyangga cakram. Bentuk *shaft* dapat berupa kotak, lingkaran atau oktagon. *Shaft* menggunakan besi baja yang terlindung oleh cat anti karat dengan ketebalan 13-30 mm. Peningkatan kecepatan *shaft* dalam berputar dapat meningkatkan kemampuan mikroorganisme dalam mengolah limbah dan juga dapat meningkatkan kadar oksigen

- *Disk*

Disk merupakan cakram yang berputar di dalam bak untuk mengolah air limbah. Bahan yang digunakan berupa plastik jenis *High-density polyethylene* (HDPE) dengan pola yang berbeda-beda. Jenis *disk* bervariasi, yakni densitas standar, densitas sedang, dan densitas tinggi. Perbedaan jenis densitas mempengaruhi luas permukaan *disk*.

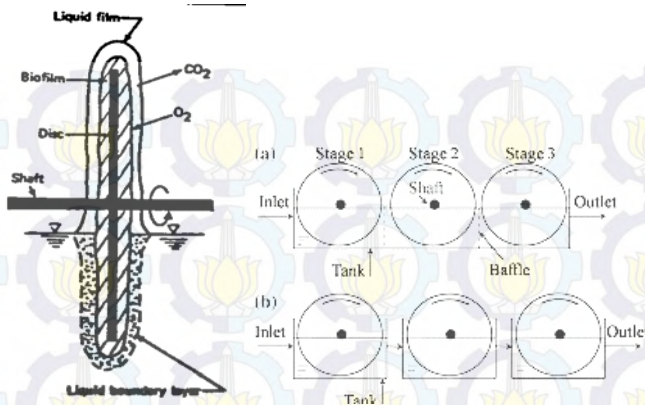
- Mesin

Mesin merupakan bagian yang memiliki daya untuk memutar *disk*. Daya yang digunakan berkisar dari 3,7 hingga 5,6 kW per *shaft*. Bak pengendap, merupakan bagian dari unit RBC yang berguna untuk menampung lumpur yang dihasilkan selama proses pengolahan. Penutup, merupakan bagian dari RBC yang terbuat dari gelas fiber. Fungsi dari penutup antara lain untuk melindungi *disk* dari sinar ultraviolet, mencegah tumbuhnya alga dan melindungi RBC dari kerusakan.

- Media

Media RBC berupa bahan yang terbuat dari bahan plastik atau polimer yang ringan, seperti *poly vinyl chlorida* (PVC), *polystyrene*, *polyethylene* (PE) dan *polypropylene* (Said, 2005). Bentuk media bervariasi yakni ada yang berbentuk bergelombang, bulat atau datar. Semakin besar luas permukaan media, maka semakin besar luas permukaan yang dapat dilekati oleh *biofilm*.

Unit RBC memiliki bagian yang dapat berputar yang dinamakan cakram atau *disk*. *Disk* berputar pada suatu bak penampung yang mengandung air limbah. Sebesar 40% dari bagian RBC tercelup di dalam air limbah. *Disk* berotasi sebesar 1-1,6 putaran per menit. *Staging* merupakan penyusunan sejumlah *disk* yang digunakan untuk mengolah limbah. Penyusunan *disk* dalam suatu *stage* sangat mempengaruhi penyisihan bahan organik dalam air limbah, yakni BOD₅ dan N (Cortez, *et al.*, 2008). Semakin banyak jumlah *stage* yang digunakan maka efisiensi pengolahan semakin besar (Said, 2005) Gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan dua contoh penempatan posisi *disk* dan *stage* yang umum digunakan.



Gambar 2.2 Letak Biofilm, *Disk* dan *Stage*
 sumber: Lin (1999) dan Cortez, *et al.* (2008)

Disk yang terdapat pada unit RBC memiliki *biofilm* yang mengandalkan suplai oksigen agar tetap dapat mengolah air limbah. Unit RBC dirancang sebagai unit pengolahan biologis atau pengolahan lanjutan. Kemampuan RBC juga bergantung pada kecepatan rotasi, *organic loading*, media, *staging*, dan *biofilm* yang dihasilkan (Cortez, *et al.*, 2008).

Biofilm merupakan lapisan mikroorganisme yang hidup terlekat pada dinding *disk*. Mikroorganisme inilah yang berperan penting dalam pengolahan air limbah dan berpotensi untuk menurunkan polutan dalam polutan. Limbah yang dibuang dari proses pencucian dan sampingan seperti organofenol mampu diurai dengan baik oleh RBC (Cortez, *et al.*, 2008). *Biofilm* memiliki lapisan gelatin yang berwarna keabu-abuan berfilamen. Ketebalan *biofilm* bervariasi, yakni berkisar 0,5 hingga 4,5 mm. Proses penguraian senyawa organik terjadi secara aerobik. Apabila ketebalan *biofilm* terjadi secara maksimal akan terjadi proses penguraian secara anaerobik. *Biofilm* yang terlalu tebal selanjutnya mengalami pengelupasan. Tabel 2.2 dibawah ini menunjukkan kriteria desain dari RBC.

Tabel 2.2 Kriteria Desain RBC

Parameter	Satuan	Jenis Pengolahan		
		BOD Removal	BOD Removal dan Nitrifikasi	Nitrifikasi Terpisah
HLR	m ³ /m ² .hari	0,08-0,16	0,03-0,08	0,04-0,1
OLR	g BOD/m ² .hari	8-20	5-16	1-2
HRT	jam	0,7-1,5	1,5-4	1,2-3
Effluen BOD	mg/L	15-30	7-15	7-15

Sumber: Tchobanoglous, *et al.*, (2002)

2.5 Persyaratan Kualitas Effluen Rumah Sakit

Peningkatan pengelolaan lingkungan khususnya dalam pengolahan air limbah perlu mendapatkan perhatian khusus agar tidak mengganggu aktivitas masyarakat dan mencemari lingkungan. Acuan yang digunakan adalah Peraturan Gubernur Provinsi Jawa Timur nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Kualitas effluen ini juga mempersyaratkan bahwa volume air limbah maksimum sebesar 500 L/hari. Tabel 2.3 dibawah ini memaparkan baku mutu air limbah berdasarkan Keputusan Gubernur Provinsi Jawa Timur nomor 72 Tahun 2013.

Tabel 2.3 Baku Mutu Air Limbah

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1.	Suhu	°C	30
2.	pH	-	6-9
3.	BOD ₅	mg/L	30
4.	COD	mg/L	80
5.	TSS	mg/L	30
6.	NH ₃ -N bebas	mg/L	0,1
7.	PO ₄	mg/L	2
8.	Coliform/100 ml air	MPN	10.000

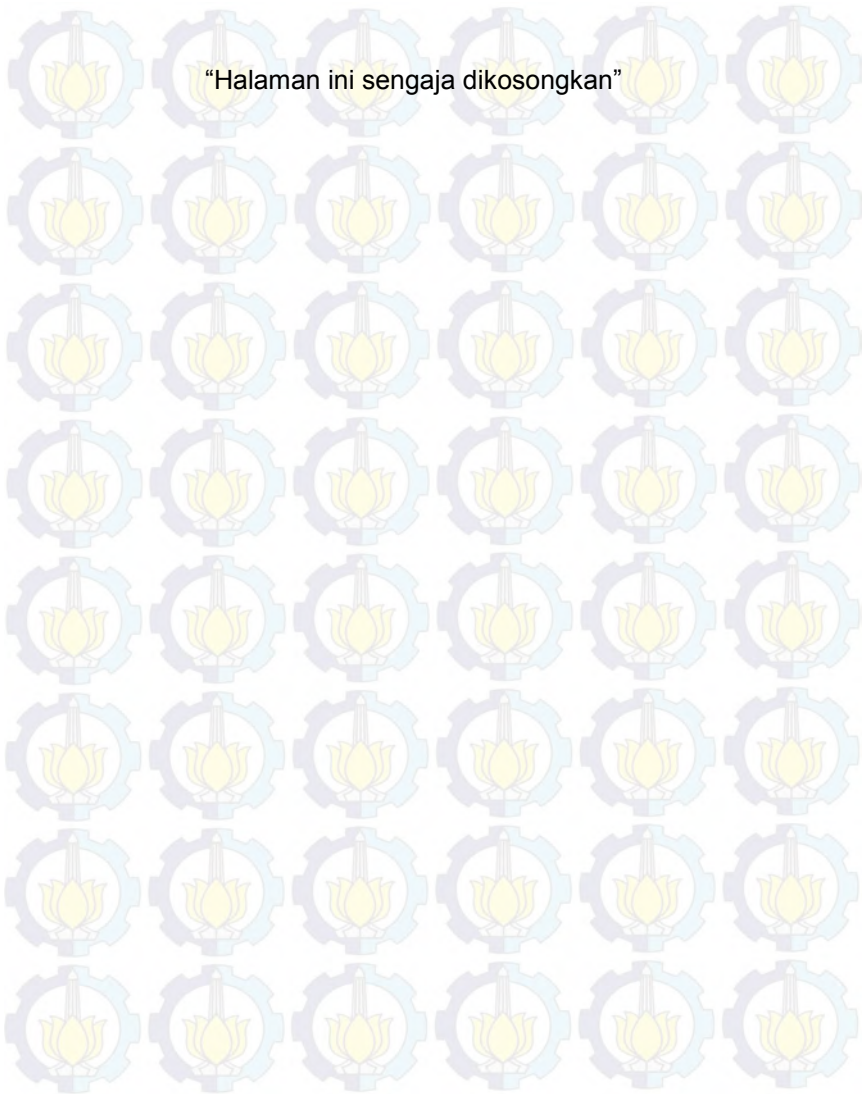
Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72/2013

2.6 Analisis Terdahulu

Tabel 2.4 dibawah ini menunjukkan beberapa penelitian dan analisis terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Oliveira and von Sperling (2011)	Performance Evaluation of Different Wastewater Treatment Technologies Operating in A Developing Country	HRT merupakan kriteria evaluasi utama, karena mempengaruhi parameter lain dan menunjukkan beban air limbah yang terolah.
2.	Korzeniewska, Ewa, <i>et al.</i> (2013)	Antibiotic Resistant <i>Escherichia coli</i> in Hospital and Municipal Sewage and Their Emission to the Environment	Bakteri masih dapat ditemukan pada efluen dengan konsentrasi tinggi, sehingga perlu adanya desinfeksi
3.	Suprihatin dan Indrasti (2010)	Penyisihan Logam Berat dari Air limbah Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi	Limbah laboratorium memiliki kandungan COD sebesar 320-360 mg/L dengan metode presipitasi karbon aktif
4.	Demetrios, <i>et al.</i> (2004)	Organic and Nitrogen Removal in a Two-stage Rotating Biological Contactor Treating Municipal Wastewater	Unit RBC <i>Two-stage</i> mampu menurunkan kandungan COD hingga 82,3% dan meningkat hingga 94% apabila ditambah dengan bak pengendap



BAB 3

GAMBARAN UMUM WILAYAH STUDI

3.1 Profil Singkat RSU Haji Surabaya

3.1.1 Sejarah, Visi dan Misi Rumah Sakit

Rumah Sakit Umum (RSU) Haji Surabaya merupakan rumah sakit milik pemerintah Provinsi Jawa Timur yang dibuka secara resmi pada 17 April 1993 sebagai RSU tipe C. Pada tahun 1998 berkembang menjadi RSU tipe B Non-Pendidikan dan pada tahun 2008 kembali berubah status menjadi RSU tipe B Pendidikan. Visi RSU Haji Surabaya adalah menjadi “Rumah Sakit Pilihan Masyarakat, Prima dan Islami dalam Pelayanan, Pendidikan dan Penelitian”. Misi yang diusung oleh rumah sakit ini adalah sebagai berikut:

- Menyediakan pelayanan kesehatan dan pendidikan yang berkualitas melalui sumber daya manusia yang profesional, mukhlis dan berkomitmen tinggi.
- Meningkatkan kualitas hidup sesuai harapan pelanggan
- Mewujudkan sarana dan prasarana yang memadai
- Mewujudkan wahana pembelajaran dan penelitian dalam upaya membentuk profesional yang handal
- Menanamkan budaya kerja sebagai bagian dari ibadah dan profesionalisme
- Mengembangkan program unggulan
- Mengembangkan jejaring dengan institusi lain.

Berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Timur No. 11 Tahun 2008, RSU Haji Surabaya dipimpin oleh seorang direktur yang berada dibawah dan bertanggung jawab kepada Gubernur melalui Sekretaris Daerah. Direktur dibantu oleh 3 (tiga) wakil direktur, tiga (3) kepala bagian dan 4 (empat) kepala bidang yang terdiri atas wakil direktur pelayanan medik dan keperawatan, wakil direktur penunjang medik, pendidikan dan penelitian, dan wakil direktur umum dan keuangan.

3.1.2 Fasilitas Rumah Sakit

Fasilitas di RSUD Haji Surabaya dibagi kedalam 18 (delapan belas) unit pelayanan. Unit pelayanan tersebut dibagi dalam dua bagian, yakni bagian gedung utama yang mencakup Gedung Shofa, Marwah, Paviliun Nuur Afiah serta kantor utama rumah sakit. Berikut ini merupakan penjelasan dari masing-masing bagian.

- Gedung Utama

Gedung utama merupakan area terluas yang mencakup sekitar ruang perawatan pasien dari keseluruhan gedung RSUD Haji Surabaya. Fasilitas yang terdapat di gedung ini antara lain:

- Instalasi rawat intensif
- Instalasi gigi mulut
- Instalasi gawat darurat
- Instalasi rawat jalan
- Instalasi rawat inap
- Instalasi bedah sentral
- Instalasi paviliun
- Ruang jenazah
- Kantor Utama
- Rekam Medis
- Masjid
- Toilet
- IPAL non-toksik

- Tower Arafah

Tower Arafah merupakan gedung bertingkat 8 yang didalamnya terdapat fasilitas penunjang medis selain di gedung utama. Fasilitas yang terdapat di gedung ini antara lain:

- Lab. Patologi Klinik
- Lab. Patologi Anatomi
- Instalasi haemodialisis
- Diagnostik
- Instalasi Radiologi
- Kosmetika Medik
- Medical *Check-up*
- Rehabilitasi Medik
- VK bersalin
- Instalasi Farmasi
- Administrasi
- Instalasi Gizi
- Toilet
- IPAL-Toksik

Fasilitas yang berada pada Gedung Utama dan Tower Arafah tidak melayani 24 jam. Pelayanan pasien diatas jam kerja (pukul 16.00-07.00) hanya dilayani dalam kondisi gawat darurat. Terdapat dua (2) jenis IPAL yang digunakan. Unit IPAL non-toksik

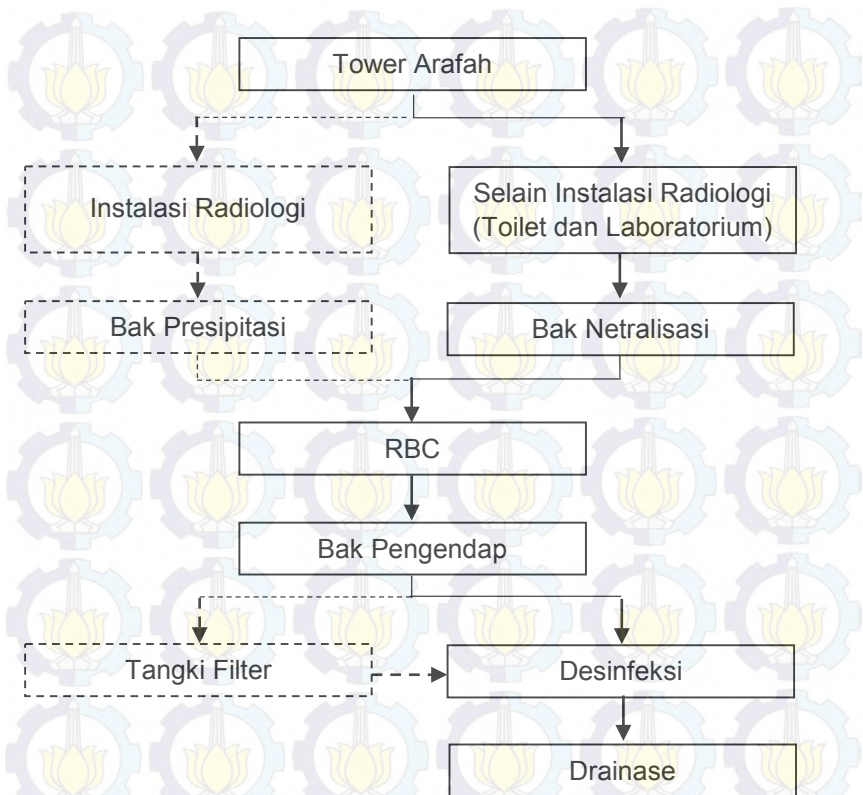
merupakan unit IPAL untuk mengolah air limbah yang dibuang dari semua fasilitas yang berada di Gedung Utama. Unit IPAL-Toksik merupakan unit IPAL untuk mengolah seluruh air limbah yang dibuang dari semua fasilitas di Tower Arafah. Fasilitas lain yang terdapat pada rumah sakit ini yakni gedung parkir bertingkat, bank, dan gudang sarana. Gambar 3.1 merupakan tampilan luar Gedung Utama dan Tower Arafah.



Gambar 3.1 Gedung Utama dan Tower Arafah

3.2 Pengolahan Air Limbah RSUD Haji Surabaya

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya bahwa terdapat dua (2) unit pengolahan air limbah. Unit IPAL non toksik merupakan unit IPAL yang mengolah air limbah dari *grey water* dan efluen tangki septik dari ruang perawatan pasien, ruang operasi, kantor dan paviliun. Unit IPAL-Toksik merupakan unit IPAL yang mengolah air limbah *grey water* dan *black water* dari Tower Arafah. Karakteristik air limbah yang berasal dari Tower Arafah berupa air limbah yang mengandung bahan kimia atau reagen-reagen yang berasal dari laboratorium, instalasi radiologi dan laboratorium serta air limbah domestik yang berasal dari toilet. Terdapat juga air limbah dari pembersihan lantai dan toilet yang memiliki nilai pH yang rendah. Gambar 3.2 menunjukkan skema pengolahan pada IPAL-Toksik.



Ket: garis putus-putus menandakan tidak digunakan

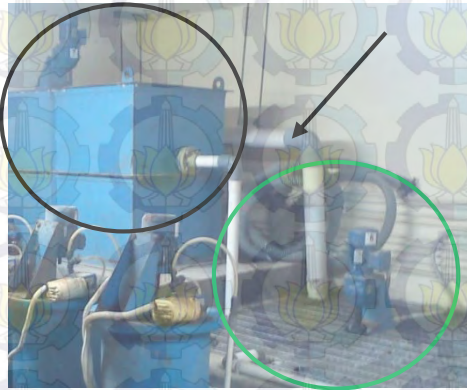
Gambar 3.2 Skema IPAL-Toksik RSU Haji Surabaya

Unit IPAL-Toksik dibangun pada lahan seluas 43,2 m² pada tahun 2007. Dimensi IPAL-Toksik secara keseluruhan sebesar 8 m x 5,4 m x 5 m. Sebagai sirkulasi udara ditambahkan blower sebanyak 2 unit diatas IPAL-Toksik. Sirkulasi udara dibutuhkan untuk mencegah bau dan mengusir nyamuk. Pipa vent telah ada diatas bangunan IPAL namun masih belum mengurangi bau tidak sedap yang ditimbulkan dari air limbah. Dinding IPAL-

Toksik berupa beton dengan ketebalan 20 cm. Unit IPAL-Toksik berada dibelakang Tower Arafah dan terletak tertutup dibawah tanah dengan kondisi operasional yang kontinu dan semi otomatis. Kondisi kontinu dimana IPAL beroperasi selama 24 jam dan semi otomatis dimana IPAL berjalan dalam sebuah sistem terpadu yang menggunakan listrik. Penyediaan stok bahan kimia dan pengaturan aliran air limbah masih dilakukan secara manual. Sama halnya dengan IPAL non toksik, operasional IPAL-Toksik berada pada bagian instalasi sanitasi RSUD Haji Surabaya. Namun, dalam operasional sehari-hari belum terdapat operator khusus yang mengoperasikan unit dan asesoris pada IPAL-Toksik. Unit yang terdapat pada IPAL-Toksik antara lain:

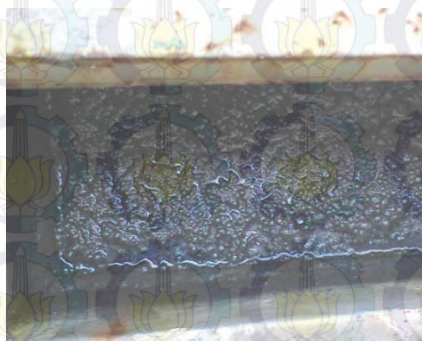
1. Pipa inlet yang berasal dari toilet dan semua laboratorium (dengan Ø 6"). Pipa dengan Ø 4" dari instalasi radiologi tidak digunakan. Air limbah yang masuk dari pipa inlet memiliki warna yang bervariasi bergantung proses laboratorium yang terjadi. Bau yang menyengat juga ditimbulkan dari air limbah.
2. Bak Presipitasi
Unit ini berfungsi untuk membuat padatan koloid maupun ion logam berat mengendap pada proses pengendapan. Kondisi pH yang dipertahankan pada rentang 10-11 dengan pembubuhan natrium hidroksida (NaOH). Flok-flok yang terbentuk akan mengendap pada bagian bawah bak. Bak presipitasi terbuat dari bahan logam dengan dimensi 1,4 m x 0,7 m x 1 m. Saat ini, bak presipitasi tidak difungsikan karena instalasi radiologi menggunakan proses sterilisasi dengan sinar ultraviolet (UV).
3. Bak Netralisasi
Unit ini berfungsi untuk proses netralisasi air limbah yang masuk. Letak unit ini berada dibawah bak presipitasi dan dihubungkan dengan pipa galvanis Ø 2" (Gambar 3.3). Bak netralisasi dibagi dalam tiga (3) kompartemen yang memiliki ukuran yang berbeda. Dimana tiap kompartemen dibatasi oleh dinding beton dengan ketebalan 20 cm dan dihubungkan dengan *sparring pipe* dengan Ø 6". Proses netralisasi dilakukan secara otomatis dengan menggunakan

pH control yang dihubungkan dengan *dosing pump* larutan NaOH dan asam sulfat (H_2SO_4). Terdapat 4 tangki yang berisikan larutan NaOH dan larutan H_2SO_4 . Pengaturan pH dilakukan pada rentang 6-8. Pada bak netralisasi terjadi proses pengadukan dengan bantuan *mixer agitator* pada kompartemen 1. Pada kompartemen 2 terjadi proses pengendapan lumpur yang berwarna kehitaman (Gambar 3.4).



Gambar 3.3 Bak Presipitasi dan Bak Netralisasi

Ket: lingkaran hitam menandakan bak presipitasi, lingkaran hijau menandakan bak netralisasi, panah menandakan pipa inlet yang digunakan



Gambar 3.4 Pengendapan Lumpur di Bak Netralisasi (Kompartemen 2)

4. *Rotating Biological Contactor (RBC)*

Unit ini berfungsi untuk mengolah air limbah yang masuk secara biologis dengan menggunakan sistem media terlekat. Efluen bak netralisasi mengalir menuju unit RBC melalui saluran terbuka dengan dimensi 25 cm x 25 cm. Letak unit ini 60 cm lebih rendah dari tinggi *freeboard* bak netralisasi. Unit ini terdiri atas tangki segilima yang terdiri atas 3 zona media, unit piringan dan sistem penggerak (*shaft*) Media pada piringan dalam kondisi 40% terendam dengan laju putaran 3-5 rpm. Media perlekatan *biofilm* menggunakan plastik dengan bahan *High Density Polyethylene (HDPE)*. Gambar 3.5 menunjukkan unit RBC.



Gambar 3.5 Unit RBC dan Tangki Bahan Kimia

5. Bak Pengendap

Unit ini berfungsi sebagai proses pengendapan dari efluen unit RBC yang masih mengandung padatan yang tersuspensi. Efluen bak RBC mengalir menuju bak pengendap melalui saluran terbuka dengan dimensi 25 cm x 25 cm. Bak pengendapan dibagi dalam 2 (dua) kompartemen yang memiliki ukuran yang berbeda. Dimana tiap kompartemen dipisahkan oleh dinding beton dengan ketebalan 20 cm dan hanya dihubungkan dengan sparring pipe dengan $\text{Ø } 6''$. Efluen dari bak pengendap dipompa ke atas menuju tangki filter. Pada masing-masing kompartemen ditemukan banyak lumpur dan padatan koloid di dalam air.

6. Tangki Filter

Efluen dari bak pengendap dialirkan menuju filter dengan menggunakan pompa. Letak tangki filter berada diatas bak pengendap. Bentuk tangki filter berupa silinder dengan ketinggian 1 m yang dihubungkan dengan pipa PVC Ø 2" dari bak pengendap. Filter yang digunakan berupa *single media filter* dengan media pasir silika dan karbon. Prinsip kerja filtrasi adalah upflow karena air limbah dialirkan dari bawah dan proses filtrasi melawan arah gravitasi. Efluen filtrasi atau efluen akhir berada diatas tangki dan mengalir menuju drainase. Saat ini, kedua tangki filter tidak digunakan karena media filter yang rusak. Selama IPAL-Toksik beroperasi belum pernah dilakukan pergantian media karena kondisi tangki yang berupa material pabrikan sehingga menyulitkan pihak RSU Haji Surabaya melakukan penggantian. Operasi perpipaan pada tangki filter karena harus dioperasikan secara manual. Gambar 3.6 menunjukkan bak pengendap dan tangki filter yang terletak diatas bak pengendap.



Gambar 3.6 Bak Pengendap dan Tangki Filter

Ket: Bagian bawah yang tertutup beton merupakan bak pengendap, sedangkan dua (2) tabung berwarna biru merupakan tangki filter.

7. Desinfeksi

Proses desinfeksi dilakukan sebelum efluen akhir air limbah dibuang. Proses ini dilakukan dengan menginjeksi air limbah

dengan Natrium Hipoklorit (NaClO). Proses desinfeksi belum berjalan sempurna karena dosis pemberian natrium hipoklorit berdasarkan dosis yang berada di pasaran. Terdapat satu (1) tangki sebagai tempat menampung NaClO. Efluen pengolahan air limbah dibuang menuju badan air melalui saluran drainase.

Alat pengukur debit atau *flowmeter* terletak didekat tangki filter. Angka yang tercatat pada *flowmeter* merupakan debit yang telah terolah sepanjang IPAL beroperasi. Kondisi *flowmeter* belum sempurna karena dalam kondisi terkadang menyala dan mati. Hal ini menyulitkan proses pemantauan debit yang terolah. Kondisi tiap unit pengolahan yang tertutup beton dan tercelupnya ujung pipa dibawah permukaan air menyebabkan pengukuran debit tidak dapat dilakukan secara manual.

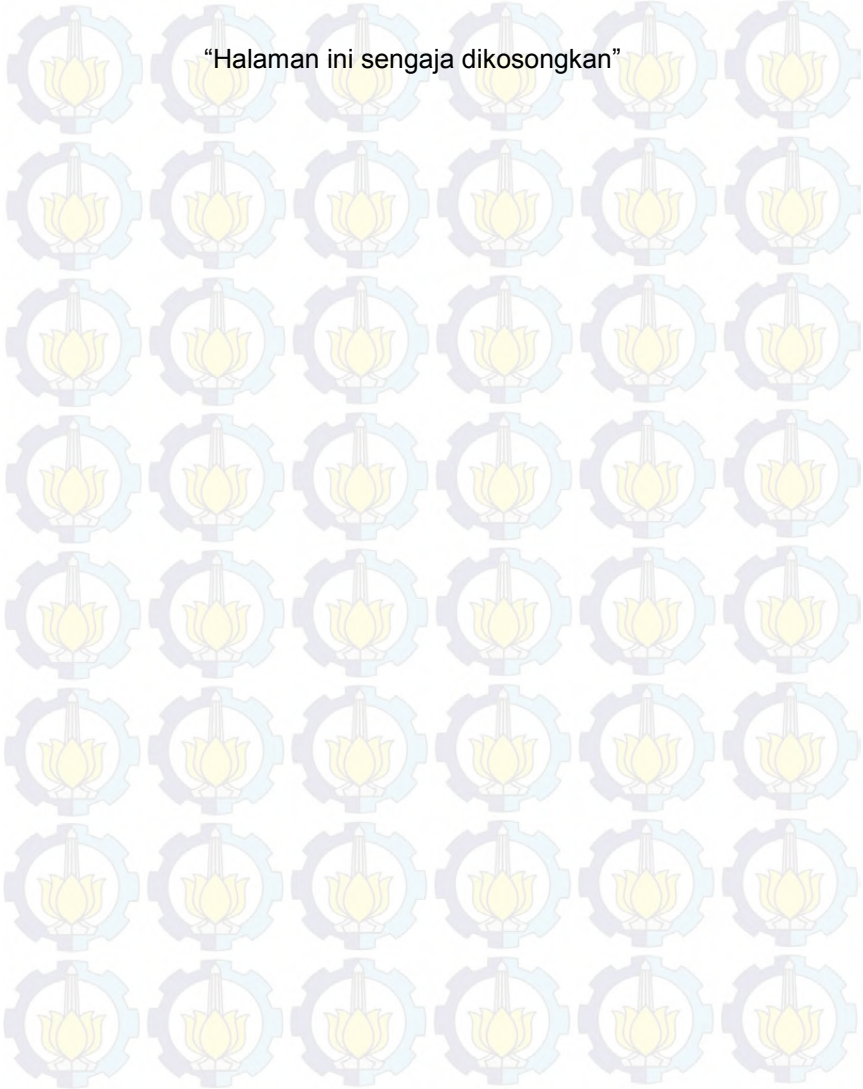
Perawatan yang sering dilakukan di dalam IPAL antara lain pembersihan media IPAL dari sampah-sampah berukuran besar seperti kantong plastik, penambahan bahan kimia untuk proses netralisasi dan desinfeksi dan pengukuran efluen IPAL. Sekitar 2 meter didekat titik outlet IPAL terdapat titik pantau yang disertai dengan koordinat titik pantau. Swapantau dilakukan tiap bulan oleh pihak RSUD Haji Surabaya di laboratorium Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Surabaya. Pengukuran air limbah dilakukan berdasarkan Pergub Jatim No. 72/2013. Tabel 3.1 dibawah ini merupakan hasil pemantauan IPAL pada bulan Februari 2015 dimana efluen IPAL pernah mencapai kondisi melebihi baku mutu.

Tabel 3.1 Hasil Swapantau Efluen IPAL-Toksik

Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu
Suhu	38°C	30°C
pH	7,36	6 – 9
TSS	38 mg/L	30 mg/L
BOD ₅	64,3 mg/L	30 mg/L
COD	151,7 mg/L	80 mg/L
NH ₃ -N bebas	0,36 mg/L	0,1 mg/L
PO ₄ ³⁻	1,19 mg/L	2 mg/L
Total Coliform/100 ml air	840000/100 ml	10000/100 ml
	Tidak memenuhi baku mutu	

Sumber: BLH Kota Surabaya (2015)

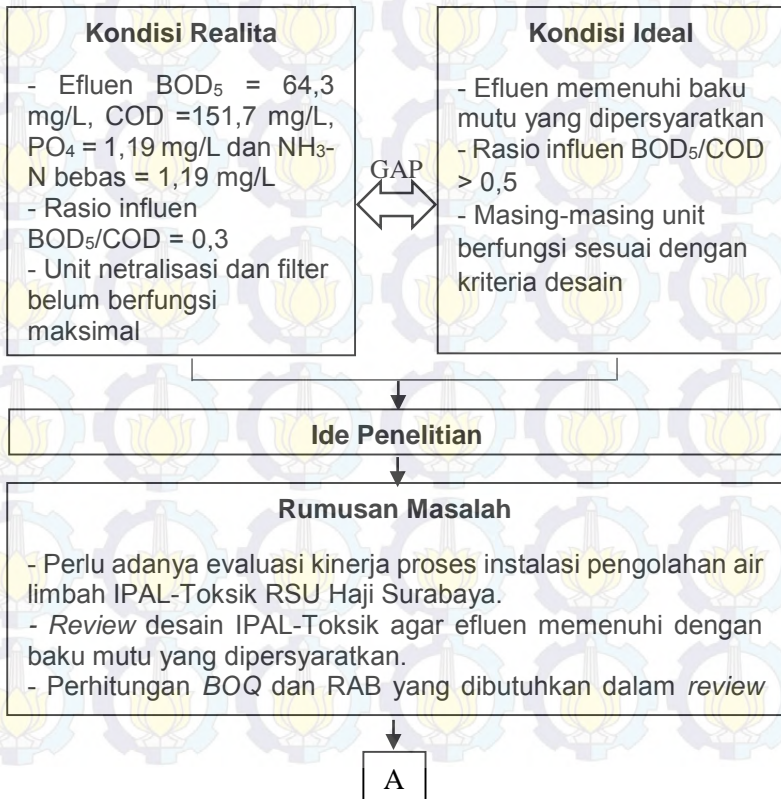
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

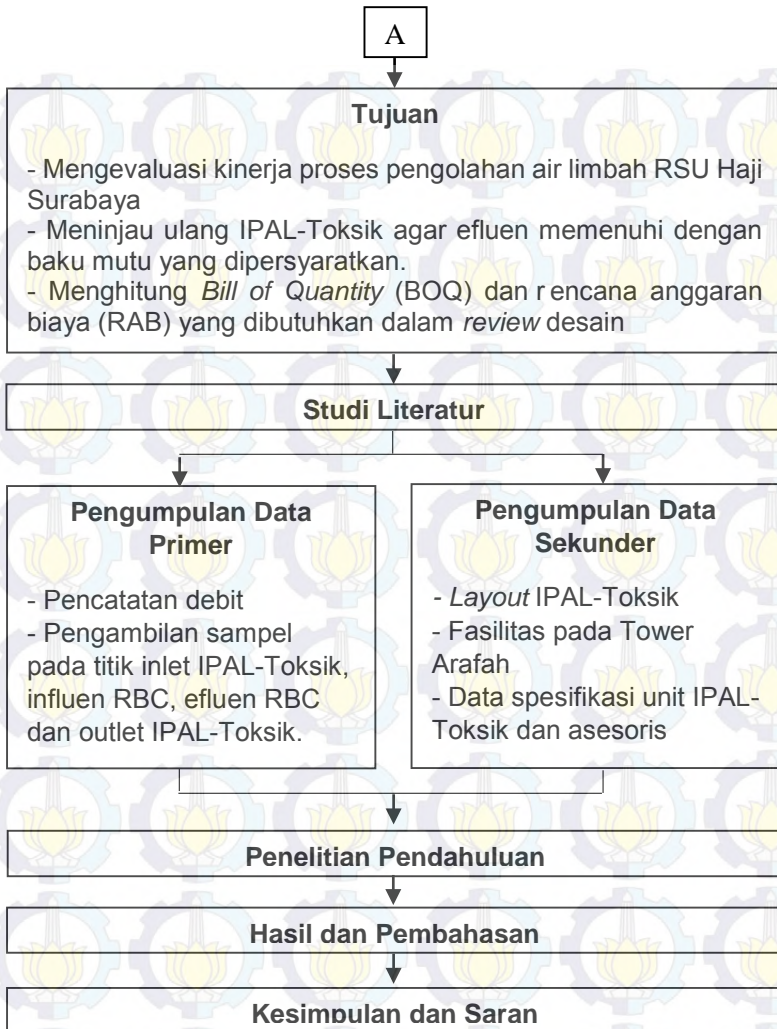


BAB 4 METODE PENELITIAN

4.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian memaparkan jalannya pemikiran yang akan dilakukan selama penelitian dan memberikan kemudahan dalam penyusunan atau membaca laporan. Kerangka ini juga memaparkan alur pikir yang sistematis sehingga akan diketahui tahap-tahap yang akan dilakukan selama penelitian. Kerangka penelitian disajikan pada Gambar 4.1





Gambar 4.1 Kerangka Penelitian

4.2 Penentuan Ide Penelitian, Rumusan Masalah dan Tujuan

Ide penelitian ditentukan dari perbandingan antara kondisi eksisting IPAL-Toksik dengan kondisi ideal. Berdasarkan ide penelitian diatas dapat ditentukan masalah-masalah yang akan diselesaikan dengan menentukan beberapa rumusan masalah. Selanjutnya dari rumusan masalah yang ada dapat ditentukan tujuan penelitian yang dicapai. Tujuan penelitian akan berkaitan dengan kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian.

4.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk menemukan referensi yang digunakan untuk mendukung penelitian pendahuluan maupun penelitian. Studi literatur dilakukan guna mendapatkan referensi karya ilmiah yang sesuai dengan ide yang diteliti. Beberapa literatur akan dilakukan perbandingan dengan kondisi yang didapat saat melakukan penelitian dan perancangan desain, sehingga literatur dapat dijadikan sebagai acuan maupun koreksi. Referensi yang dibutuhkan dalam literatur berupa:

- Karakteristik air limbah rumah sakit
- Karakteristik toksisitas air limbah rumah sakit, yakni toksik terhadap mikroorganisme pengolah pada pengolahan biologis
- Proses pengolahan air limbah di rumah sakit, khususnya dengan menggunakan proses pengolahan dengan unit *Rotating Biological Contactor* (RBC)
- Proses pengolahan air limbah secara fisik dan kimiawi untuk menurunkan tingkat toksisitas

Sumber literatur yang digunakan berupa berbagai sumber pustaka maupun karya ilmiah yang berkaitan. Berikut ini adalah beberapa sumber literatur yang digunakan:

- Jurnal internasional dan nasional
- *Text book*,
- Tugas akhir yang berkaitan

- Baku mutu efluen dari instalasi pengolah air limbah di Provinsi Jawa Timur, yakni Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72/2013

4.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting yang ada di lapangan. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder.

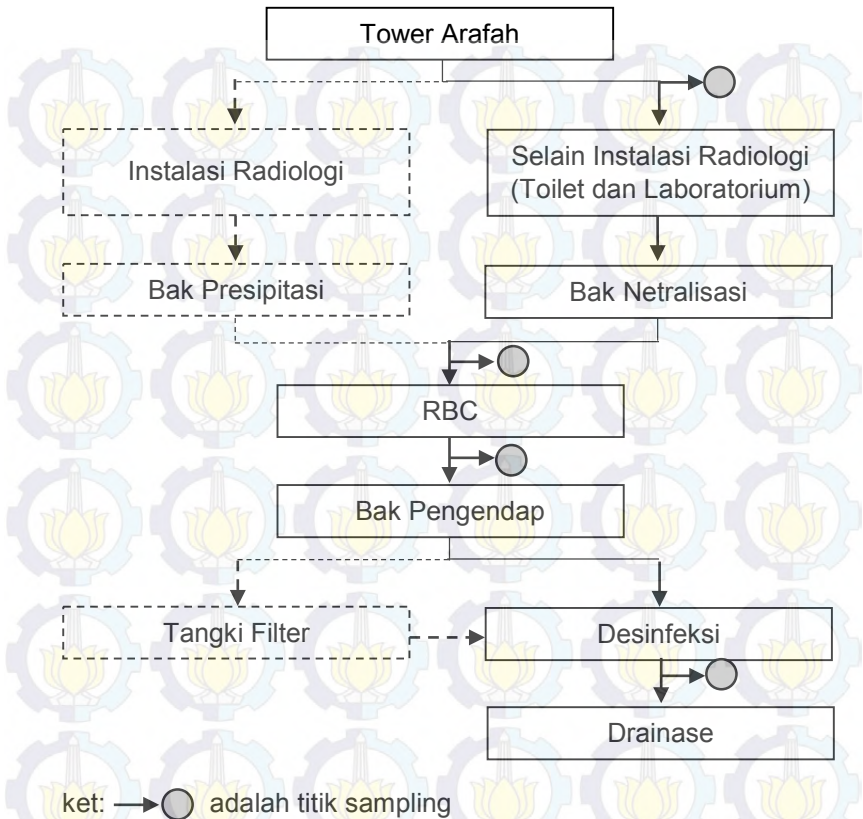
4.4.1 Pengumpulan Data Primer

Data primer diperoleh dari data hasil pengambilan sampel dan observasi lapangan. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling*. Periode pengukuran dan pengambilan sampel yakni dilakukan selama satu (1) Minggu dengan frekuensi pengambilan sampel tujuh (7) hari berturut-turut. Berdasarkan data harian tersebut akan diketahui hari dimana terjadi debit puncak.

Pengambilan sampel dilakukan pada empat titik, yakni:

- Influen awal IPAL-Toksik (Inlet)
- Influen unit pengolahan biologis (Inf RBC)
- Efluen unit pengolahan biologis (Eff RBC)
- Efluen akhir IPAL-Toksik (Outlet)

Gambar 4.2 dibawah ini menggambarkan lokasi pengambilan sampel pada IPAL-Toksik.



Gambar 4.1 Lokasi Titik Sampling

4.4.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Layout* IPAL-Toksik rumah sakit
Layout IPAL-Toksik rumah sakit menyajikan data berupa letak dari IPAL-Toksik dengan beberapa unit pengolahan

yang ada didalamnya. *Layout* juga menunjukkan letak influen IPAL. *Layout* diperoleh dari bagian administrasi.

2. Jenis fasilitas medis

Jenis fasilitas medis dibutuhkan untuk mengetahui fasilitas medis yang membuang air limbah ke IPAL-Toksik. Data diperoleh dari bagian rekam medis.

3. Data swapantau IPAL-Toksik

Data swapantau IPAL-Toksik yang dibutuhkan berupa debit yang diolah saat dilakukan pemantauan, jangka waktu pemantauan dan kualitas efluen air limbah. Data diperoleh dari bagian instalasi sanitasi.

4. Data spesifikasi unit dan aksesoris IPAL-Toksik

Data spesifikasi unit dan aksesoris IPAL-Toksik diperlukan untuk menganalisis kapasitas pengolahan, usia pakai, efisiensi tiap unit, kapasitas pipa dan pompa yang digunakan. Data diperoleh dari bagian instalasi sanitasi.

4.5 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan menguji sampel berdasarkan metode yang tertera pada *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 20th Edition* (2005). Metode yang digunakan dalam analisis dan pengawetan sampel disajikan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Metode Analisis Sampel

Parameter	Metode	Sumber Acuan
Suhu	Elektrometri	APHA 2005
pH	Elektrometri	APHA 2005
TSS	Gravimetri	APHA 2005 2540 B
BOD ₅	Titrimetri	APHA 2005 5210
COD	Titrimetri	APHA 2005 5220
NH ₃ -N bebas	Spektrofotometri	APHA 2005 4500-NH ₃
PO ₄ ³⁻	Spektrofotometri	APHA 2005 4500-P
Coliform/100 ml air	Tabung Ganda	APHA 2005 9221-B

Sumber: *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 20th Edition* (2005)

4.6 Hasil dan Pembahasan

Pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini berupa evaluasi kinerja dari proses pengolahan air limbah ditinjau dari toksisitas dan *review* desain. Berikut ini merupakan penjelasan dari evaluasi kinerja dan *review* desain.

4.6.1 Evaluasi Kinerja IPAL-Toksik

Evaluasi kinerja merupakan proses penilaian terhadap kinerja dilakukan untuk mengetahui efisiensi *removal* masing-masing unit dalam proses pengolahan air limbah. Evaluasi kinerja penelitian ini lebih menekankan pada penilaian efisiensi *removal* IPAL-Toksik eksisting dalam pengolahan air limbah. Tujuan dari evaluasi kinerja proses pengolahan air limbah meliputi:

- Sebagai pembuktian untuk mengetahui tingkat kemampuan IPAL-Toksik dalam proses pengolahan berdasarkan kriteria desain yang ada.
- Upaya untuk melakukan penyempurnaan proses perbaikan efisiensi *removal* unit-unit IPAL-Toksik
- Sebagai saran dan masukan dalam pengambilan kebijakan untuk penyempurnaan IPAL-Toksik pada masa yang akan datang.

Evaluasi kinerja yang dilakukan meliputi langkah-langkah berikut:

1. Pengukuran debit air limbah yang diolah
Pengukuran debit air limbah dilakukan untuk mengetahui kuantitas air limbah yang diolah dalam satuan jam atau hari. Berdasarkan data yang dihasilkan didapatkan informasi apakah debit air limbah yang diolah sesuai atau melebihi kapasitas dari IPAL-Toksik itu sendiri. Pengukuran debit dilakukan melalui pencatatan pada *flow meter* yang terletak pada IPAL-Toksik. Fluktuasi dari pengukuran debit disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.
2. Perhitungan efisiensi *removal* tiap unit
Perhitungan efisiensi *removal* dilakukan untuk mengetahui kemampuan unit-unit tersebut mampu mengolah air

limbah yang melewati unit tersebut sesuai dengan kriteria desain yang ada. Efisiensi *removal* dari tiap unit dihitung dengan persamaan (4.1):

$$\%R = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (4.1)$$

dimana:

- %R = persentase *removal* polutan unit tersebut (%)
- A = konsentrasi polutan influen (mg/L)
- B = konsentrasi polutan efluen (mg/L)

Analisis dilakukan dengan membandingkan hubungan antara kebutuhan air bersih, kapasitas air limbah yang dihasilkan dan kapasitas RBC untuk mengolah air limbah. Berdasarkan perbandingan tersebut diketahui tren kemampuan RBC untuk mengolah air limbah pada masa yang akan datang. Setelah menganalisis data primer dan sekunder selanjutnya dilakukan pembahasan berupa *review* desain IPAL-Toksik.

4.6.2 **Review Desain IPAL-Toksik**

Review desain merupakan sarana untuk meninjau ulang peruntukan unit-unit dan asesoris pada IPAL-Toksik. Peninjauan ulang dilakukan berdasarkan hasil penilaian dari evaluasi kinerja yang dilakukan sebelumnya. Tujuan dari *review* desain adalah untuk menentukan unit-unit apa saja yang dapat ditambah agar IPAL-Toksik dapat mengolah air limbah dengan memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. *Review* desain meliputi aspek teknis dan aspek finansial. Berikut ini merupakan penjelasan dari aspek teknis:

1. Perhitungan beban organik (rasio BOD₅/COD)
Perhitungan beban organik berupa rasio BOD₅/COD dilakukan untuk mengetahui kemampuan beban organik yang mampu didegradasi oleh mikroorganisme pada pengolahan biologis. Data BOD₅ dan COD didapat dari hasil pengukuran pada inlet unit RBC dan outlet IPAL-Toksik. Rasio BOD₅/COD dihitung dengan persamaan (4.2):

$$Rasio = \frac{BOD_5}{COD} \dots\dots\dots (4.2)$$

dimana:

Rasio = rasio BOD₅/COD sebelum diolah dengan pengolahan biologis

BOD₅ = konsentrasi BOD₅ inlet pengolahan biologis (mg/L)

COD = konsentrasi COD inlet pengolahan biologis (mg/L)

Apabila rasio diatas 0,5 maka pengolahan biologis mampu mengurai polutan air limbah. Hal ini dikarenakan komposisi bahan organik yang telah sesuai.

2. Menghitung *mass balance* tiap unit

Perhitungan *mass balance* dilakukan untuk mengetahui massa polutan yang berhasil disisihkan dari tiap unit. *Mass balance* dihitung dengan persamaan (4.3) dengan perhitungan massa inlet maupun outlet dengan persamaan (4.4):

$$\text{Massa removal} = \text{Massa inlet} - \text{massa outlet} \dots\dots(4.3)$$

$$\text{Massa inlet atau outlet} = Q \times A \times 1 \text{ hari} \dots\dots\dots(4.4)$$

dimana:

Massa inlet atau outlet = massa air limbah yang masuk atau keluar dari unit pengolahan (kg/hari)

Q = debit air limbah (m³/hari)

A = konsentrasi polutan pada inlet atau outlet (kg/m³)

Data *mass balance* selanjutnya disajikan dalam bentuk diagram alir yang menunjukkan proses pengolahan air limbah pada IPAL-Toksik yang disertai dengan kesetimbangan massa.

3. Perhitungan *Organic Loading Rate* (OLR) pada pengolahan biologis

Perhitungan OLR dilakukan untuk mengetahui beban yang dapat diolah oleh pengolahan biologis per harinya. Data yang dibutuhkan berupa beban BOD inlet RBC dan volume air limbah dari RBC. *Organic Loading Rate* dihitung dengan persamaan (4.5):

$$OLR = \frac{\text{Beban BOD}}{\text{Volume}} \dots\dots\dots(4.5)$$

dimana:

OLR = *Organic Loading Rate* (kg BOD/m³.hari)
Beban BOD = massa BOD yang diolah (kg/hari)
Volume = volume air limbah yang diolah (m³)

4. Perhitungan *Hydraulic Loading Rate* (HLR) pada pengolahan biologis
Perhitungan HLR dilakukan untuk mengetahui perbandingan debit yang diolah RBC per luas permukaan media RBC. Data OLR dan HLR kemudian dibandingkan dengan kriteria desain dari RBC untuk mengetahui apakah RBC mampu bekerja dalam rentang *rate* yang telah disebutkan pada kriteria desain. *Hydraulic Loading Rate* dihitung dengan persamaan (4.6):

$$HLR = \frac{Q}{As} \dots \dots \dots (4.6)$$

dimana:

HLR = *Hydraulic Loading Rate* (m³/m².hari)
Q = debit air limbah yang diolah (m³/hari)
As = luas permukaan media RBC (m²)

5. Perhitungan Harga G (*G Value*)
Perhitungan harga G menunjukkan kepadatan media yang ada pada RBC. Rentang ideal untuk RBC adalah sebesar 5 – 9 L/m². Apabila harga G melebihi dari rentang maka diperkirakan media sudah mengalami pengikisan. Harga G yang dihitung dengan persamaan (4.7):

$$G = \left(\frac{Volume}{As} \right) \times 10^3 \dots \dots \dots (4.7)$$

dimana:

G = Nilai G (L/m²)
Volume = volume efektif reaktor (L)
As = luas permukaan media RBC (m²)

6. Perhitungan Waktu Tinggal Rata-rata (T)
Perhitungan waktu tinggal dilakukan untuk mengetahui lama tinggal air limbah yang diolah pada RBC. Nilai T dibandingkan dengan kriteria desain untuk mengetahui kemampuan RBC dalam mengolah air limbah. Apabila T

melebihi atau kurang dari rentang maka perlu dilakukan pemeriksaan debit air limbah yang diolah. Waktu tinggal dapat dihitung dengan persamaan (4.8):

$$T = \left(\frac{Q}{\text{Volume}} \right) \times 24 \text{ jam} \dots\dots\dots(4.8)$$

dimana:

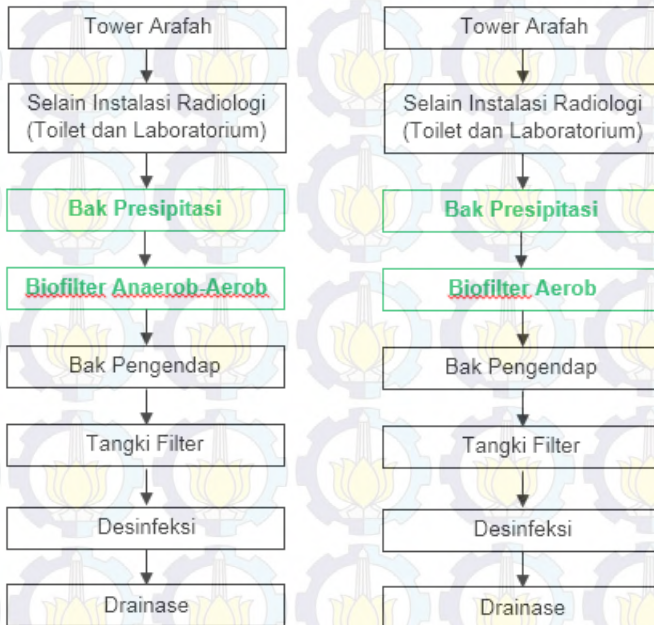
T = Waktu tinggal rata-rata (jam)

Q = debit air limbah yang diolah (m³/hari)

Volume = volume efektif reaktor (m³)

7. Pembuatan alternatif desain (opsional)

Pembuatan alternatif desain diperlukan apabila IPAL-Toksik dalam kondisi ideal tidak memenuhi evaluasi kinerja dan *review* desain. Gambar 4.3 dibawah ini merupakan alternatif desain yang dipilih:



Gambar 4.3 Skema IPAL-Toksik dengan pergantian unit

Masing-masing alternatif desain diberi tambahan unit presipitasi sebelum unit pengolahan biologis untuk menurunkan kandungan COD. Bangunan pengolahan biologis yang baru diletakkan secara paralel untuk mencegah *shock loading* saat dilakukan pengolahan. Variasi pengolahan biologis aerob dan anaerob-aerob pada tiap alternatif dimaksudkan untuk membandingkan efektivitas dari kedua jenis pengolahan. Selanjutnya, kedua alternatif desain tersebut dilengkapi kelebihan dan kekurangan masing-masing yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk memilih.

- Pembuatan *preliminary sizing*

Preliminary sizing dilakukan untuk menentukan luas lahan yang digunakan pada IPAL-Toksik secara keseluruhan yang mencakup tambahan unit. Debit yang digunakan pada perhitungan *preliminary sizing* merupakan debit maksimal yang dihasilkan dari perhitungan beban masa yang akan datang.

- Perhitungan *Mass Balance* baru

Perhitungan *mass balance* yang baru dilakukan untuk mengetahui beban polutan yang diolah dari masing-masing unit dan beban polutan yang dapat disisihkan dari tiap unit. *Mass balance* dilengkapi diagram agar dapat diketahui kesetimbangan massa yang masuk, keluar maupun tersisihkan.

- Pembuatan *Detailed Engineering Design (DED)* dan *Layout*

Penggambaran *DED* dan *Layout* disertai pula dengan perhitungan masing-masing dimensi unit bangunan, kemampuan elektrikal dari asesoris dan bahan kimia yang dibutuhkan oleh unit bak netralisasi dan presipitasi.

8. Perhitungan *Bill of Quantity* dan Rencana Anggaran Biaya (BOQ dan RAB)

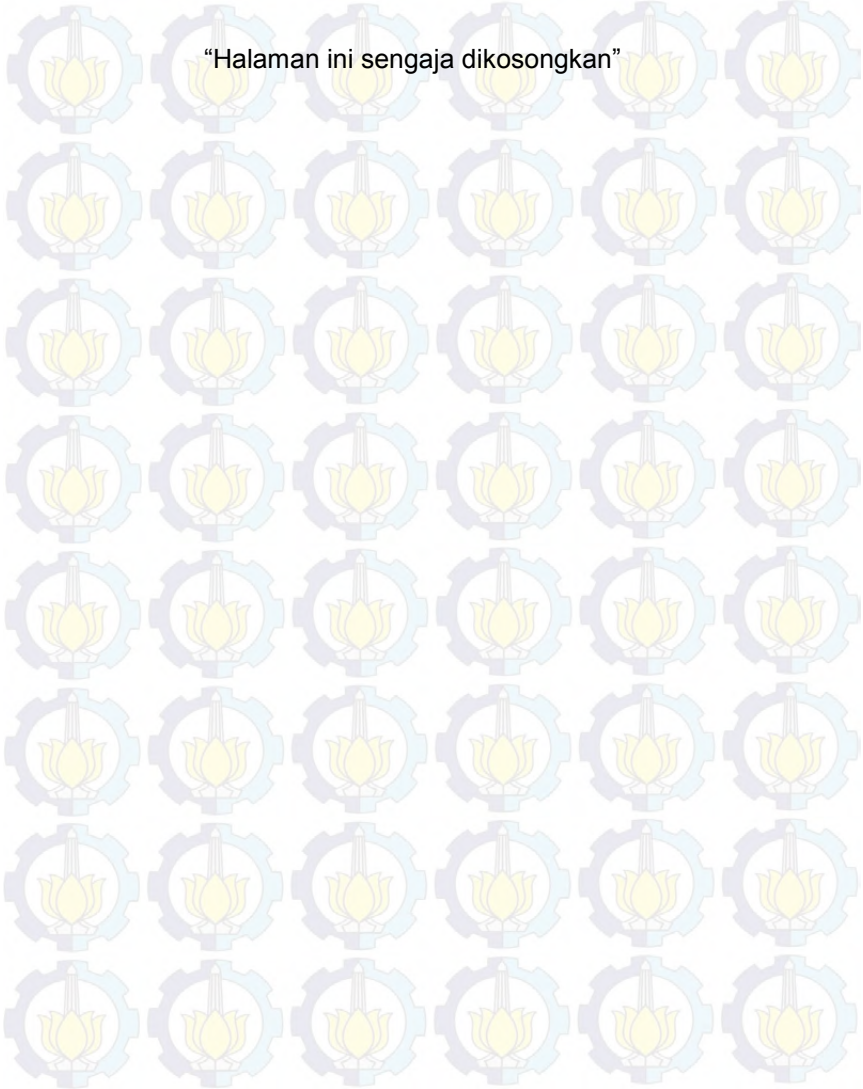
Setelah menganalisis aspek teknis kemudian menganalisis aspek finansial yang berkaitan dengan biaya yang dibutuhkan dalam aplikasi rekomendasi dari *review* desain. Perhitungan aspek finansial meliputi perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) berdasarkan SNI-DT-

2007 tentang Tata Cara Perhitungan Harga Satuan dan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2015.

4.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil dan pembahasan serta merupakan jawaban dari tujuan. Kesimpulan disajikan dalam bentuk poin sehingga memudahkan dalam menjawab tujuan. Saran disusun untuk menyempurnakan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, sehingga penelitian maupun perencanaan selanjutnya dapat bersifat berkelanjutan. Saran disajikan dalam bentuk poin sehingga memudahkan dalam mengaplikasikan saran dalam penelitian maupun perencanaan berikutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Penelitian pendahuluan

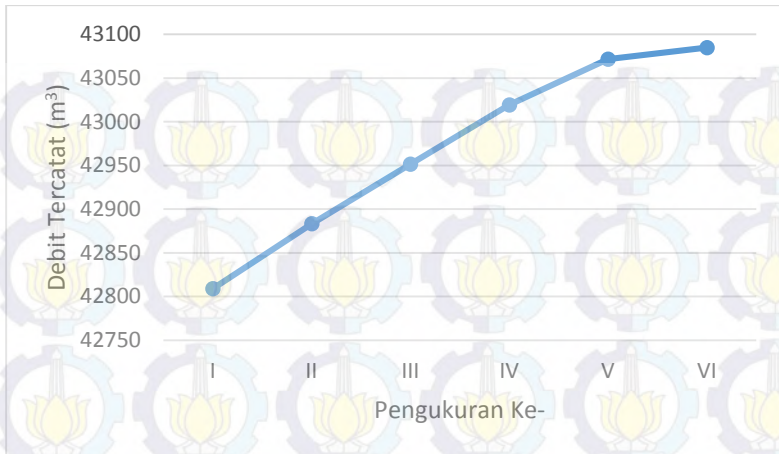
Pengambilan sampel dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting debit dan beban air limbah yang diolah IPAL-Toksik. Air limbah diambil pada waktu yang sama, yakni pukul 11.00 WIB. Pukul 11.00 WIB dipilih sebagai waktu pengukuran karena merupakan waktu pertengahan operasional dari Tower Arafah, yakni mulai pukul 08.00-15.00 WIB dengan waktu istirahat pukul 12.00-13.00 WIB. Adapun rincian waktu pengukuran dan pengambilan sampel, yakni:

- Pengukuran I : Selasa, 24 Maret 2015
- Pengukuran II : Rabu, 25 Maret 2015
- Pengukuran III : Kamis, 26 Maret 2015
- Pengukuran IV : Jumat, 27 Maret 2015
- Pengukuran V : Sabtu, 28 Maret 2015
- Pengukuran VI : Senin, 30 Maret 2015

Media untuk pengambilan sampel berupa botol PET ukuran 1,5 L yang kemudian ditutup dengan kain parasut. Ukuran 1,5 L merupakan rekomendasi yang diberikan oleh Benefield and Randall, (1980) yakni berada pada rentang 1 L- 2 L. Ukuran tersebut memungkinkan agar pengukuran sampel mendekati hasil sebenarnya. Media untuk pengukuran parameter total coliform/100 ml air berupa botol kaca yang telah disterilisasi.

5.3.1 Pengukuran Debit Air Limbah Harian

Pengukuran debit dilakukan dengan pencatatan debit yang terolah pada *flowmeter*. Satu hari sebelum hari pertama dilakukan pencatatan debit untuk mengetahui debit yang telah terolah. Debit yang telah terolah pada hari pertama merupakan selisih dari pencatatan debit hari pertama dan hari sebelumnya dan demikian seterusnya. Pengukuran debit terlampir di Lampiran D. Debit rata-rata dalam satu minggu sebesar 43,78 m³/hari. Gambar 5.1 menunjukkan tren peningkatan debit.



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

Gambar 5.1 Tren Peningkatan Debit Harian

5.3.2 Pengukuran Sampel Air Limbah Harian

Parameter langsung diukur di laboratorium untuk mencegah proses pengawetan. Hasil uji semua parameter kecuali total coliform/100 ml air diketahui pada hari yang sama. Hasil pengukuran total coliform/100 ml air diketahui setelah inkubasi selama 24 jam pada suhu 30°C. Pengukuran sampel dilakukan untuk mengetahui efisiensi pengolahan tiap unit. Hasil pengukuran tiap sampel tiap titik dilampirkan di Lampiran D.

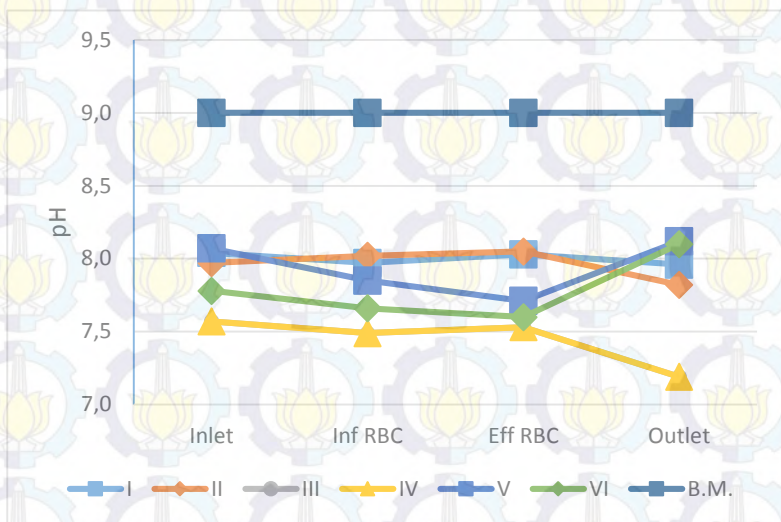
- **Pengukuran dan Analisis pH**

Nilai pH diketahui berdasarkan pengukuran pH pada pH meter. Hasil pengukuran menunjukkan nilai pH air limbah khususnya titik outlet memenuhi baku mutu. Tabel 5.1 dibawah menunjukkan hasil pengukuran nilai pH rata-rata tiap titik dan Gambar 5.2 menggambarkan perbandingan nilai pH tiap titik dengan baku mutu. Berdasarkan pengukuran, nilai pH relatif tidak berubah pada masing-masing titik pengukuran. Hasil pengukuran

ini didukung oleh penelitian Najafpour, *et al.* (2006) bahwa pengolahan biologis dengan menggunakan RBC tidak menimbulkan perubahan pH.

Tabel 5.1 Pengukuran pH Rata-rata Tiap Titik

Nilai pH				Baku Mutu
Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
7,7	7,7	7,7	7,7	6 - 9



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

Gambar 5.2 Perbandingan Pengukuran pH dengan Baku Mutu

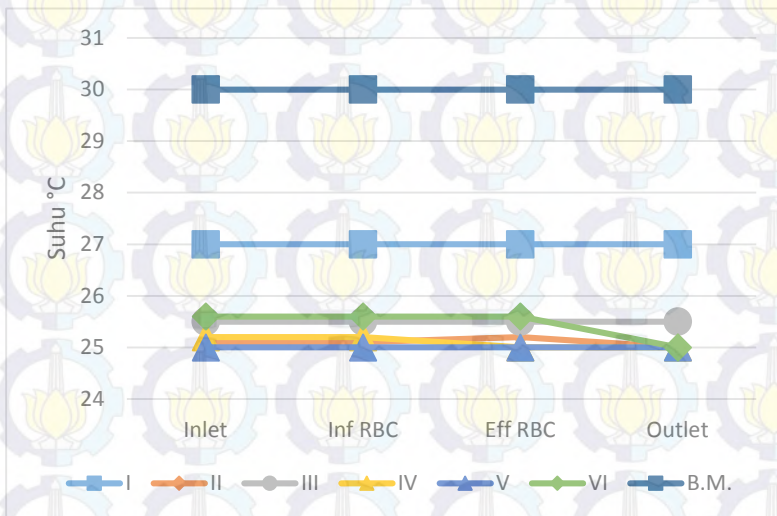
- **Pengukuran dan Analisis Suhu**

Suhu air limbah diketahui berdasarkan pengukuran suhu pada pH meter. Hasil pengukuran menunjukkan tidak terjadi perbedaan suhu antara suhu titik inlet dan titik outlet. Hal ini menandakan bahwa suhu air limbah yang terolah telah homogen. Suhu titik outlet memenuhi baku mutu. Tabel 5.2 dibawah

menunjukkan hasil pengukuran suhu rata-rata tiap titik dan Gambar 5.3 menggambarkan perbandingan besar suhu dengan baku mutu.

Tabel 5.2 Pengukuran Suhu Rata-rata Tiap Titik

Suhu (°C)				Baku Mutu
Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
25,5	25,5	25,5	25,4	30°C



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

Gambar 5.3 Grafik Pengukuran Suhu dengan Baku Mutu

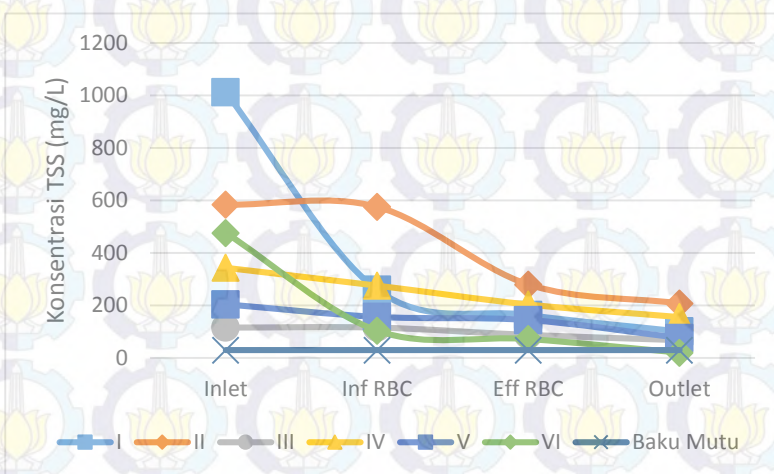
- **Pengukuran dan Analisis TSS**

Pengukuran TSS dilakukan berdasarkan *Standard Method* 2005. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi TSS semakin menurun sepanjang pengolahan. Namun, nilai TSS pada titik outlet melebihi baku mutu, yakni diatas 30 mg/L dengan nilai rata-rata 104,8 mg/L. Tingginya nilai TSS menunjukkan proses

pengendapan belum sempurna. Saat pengambilan sampel, sampel berwarna kehijauan muda hingga kehijauan pekat dan terdapat materi yang tersuspensi dan koloid. Tabel 5.3 dibawah menunjukkan menunjukkan konsentrasi TSS rata-rata tiap titik dan Gambar 5.4 perbandingan konsentrasi TSS tiap titik dengan baku mutu.

Tabel 5.3 Konsentrasi TSS Rata-rata Tiap Titik

Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
456	248	158	104,8	30 mg/L
Tidak memenuhi baku mutu				



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

Gambar 5.4 Grafik Pengukuran TSS dengan Baku Mutu

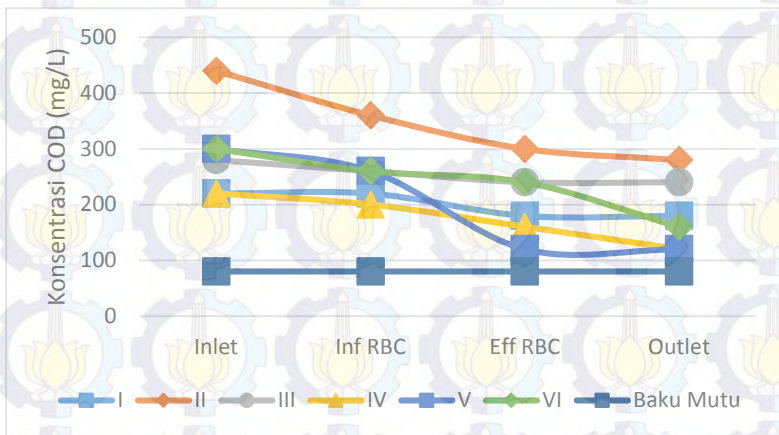
- **Pengukuran dan Analisis COD**

Pengukuran COD dilakukan berdasarkan *Standard Method* 2005. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi COD titik outlet melebihi baku mutu, yakni diatas 80 mg/L. Konsentrasi

COD air limbah pada titik inlet diatas 200 mg/L dan konsentrasi COD air limbah pada titik outlet diatas 100 mg/L. Konsentrasi COD yang mencapai ratusan menunjukkan banyaknya konsentrasi organik yang terolah namun konsentrasi COD yang melebihi baku mutu pada titik outlet menunjukkan rendahnya *removal* COD. Tabel 5.4 dibawah menunjukkan konsentrasi COD rata-rata tiap titik dan Gambar 5.5 perbandingan konsentrasi COD tiap titik dengan baku mutu.

Tabel 5.4 Konsentrasi COD Rata-rata Tiap Titik

Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
293	260	206	183,3	80 mg/L
Tidak memenuhi baku mutu				



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

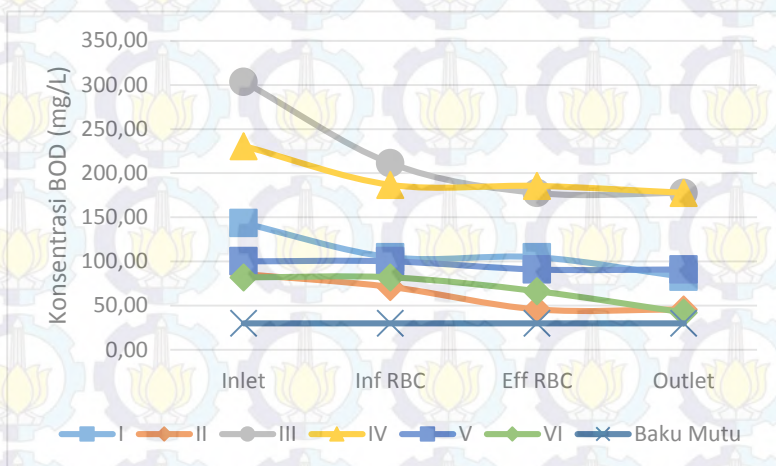
Gambar 5.5 Grafik Pengukuran COD dengan Baku Mutu

- **Pengukuran dan Analisis BOD₅**

Pengukuran BOD₅ dilakukan berdasarkan *Standard Method* 2005. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi BOD₅ outlet melebihi baku mutu, yakni diatas 30 mg/L. Nilai BOD₅ titik inlet air limbah diatas 80 mg/L dan nilai BOD₅ titik outlet air limbah diatas 40 mg/L. Seperti parameter COD, konsentrasi BOD₅ yang mencapai ratusan menunjukkan tingginya konsentrasi organik yang diolah namun hanya sedikit yang mampu terurai oleh mikroorganisme. Tabel 5.5 dibawah menunjukkan konsentrasi BOD₅ rata-rata tiap titik dan Gambar 5.6 perbandingan konsentrasi BOD₅ tiap titik dengan baku mutu.

Tabel 5.5 Konsentrasi BOD₅ Rata-rata Tiap Titik

Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
158,1	126,1	113,5	102,8	30 mg/L
Tidak memenuhi baku mutu				



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

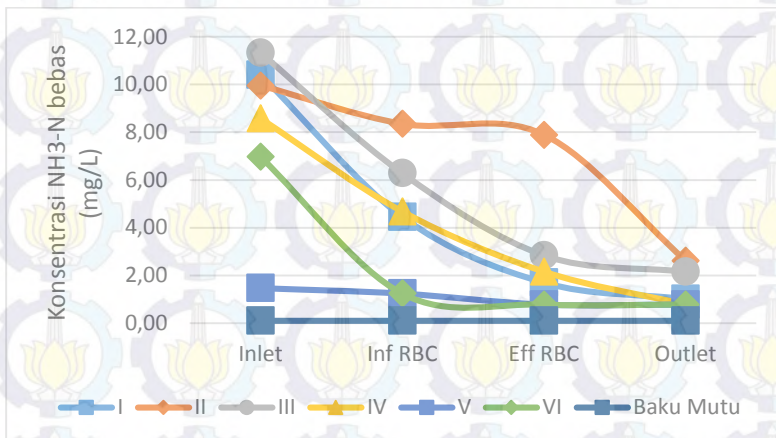
Gambar 5.6 Grafik Pengukuran BOD₅ dengan Baku Mutu

- **Pengukuran dan Analisis NH₃-N Bebas**

Pengukuran NH₃-N bebas dilakukan berdasarkan *Standard Method* 2005. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi NH₃-N titik outlet melebihi baku mutu, yakni diatas 0,1 mg/L. Konsentrasi NH₃-N bebas inlet air limbah diatas 1 mg/L dan Konsentrasi NH₃-N bebas outlet air limbah diatas 0,3 mg/L. Konsentrasi NH₃-N bebas yang terdeteksi pada titik outlet merupakan sumber nutrisi yang tidak dimanfaatkan oleh mikroorganismenya. Tabel 5.6 dibawah menunjukkan konsentrasi rNH₃-N bebas rata-rata tiap titik dan Gambar 5.7 perbandingan konsentrasi NH₃-N bebas tiap titik dengan baku mutu.

Tabel 5.6 Konsentrasi NH₃-N Bebas Rata-rata Tiap Titik

Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
8,1	4,4	2,7	1,4	0,1 mg/L
Tidak memenuhi baku mutu				



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

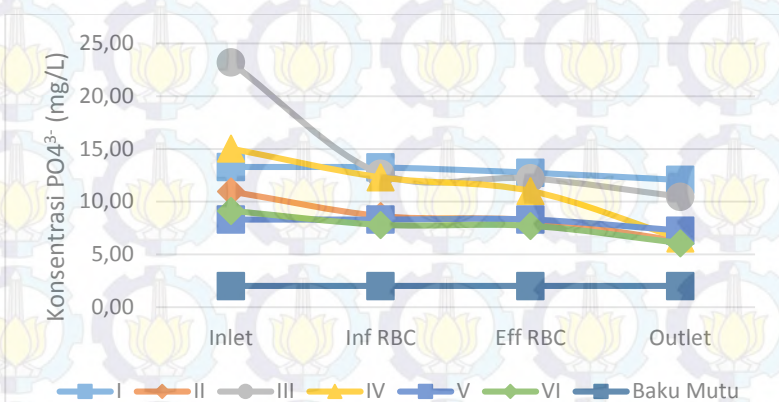
Gambar 5.7 Grafik Pengukuran NH₃-N Bebas dengan Baku Mutu

- **Pengukuran dan Analisis PO₄³⁻**

Pengukuran PO₄³⁻ dilakukan berdasarkan *Standard Method* 2005. Hasil pengukuran menunjukkan konsentrasi PO₄³⁻ titik outlet melebihi baku mutu, yakni diatas 2 mg/L. Konsentrasi PO₄³⁻ titik inlet air limbah diatas 8 mg/L dan konsentrasi PO₄³⁻ titik outlet air limbah diatas 6 mg/L. Konsentrasi PO₄³⁻ yang terukur pada titik influen (inf) RBC sekitar 2,5 kali lebih tinggi dari konsentrasi NH₃-N bebas pada titik pengukuran yang sama. Hal ini mempengaruhi rasio BOD:N:P yang dibutuhkan dalam pengolahan biologis. Tabel 5.7 dibawah menunjukkan konsentrasi PO₄³⁻ rata-rata tiap titik dan Gambar 5.8 perbandingan konsentrasi PO₄³⁻ tiap titik dengan baku mutu.

Tabel 5.7 Konsentrasi PO₄³⁻ Rata-rata Tiap Titik

Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
13,4	10,5	10,0	8,1	2 mg/L
Tidak memenuhi baku mutu				



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

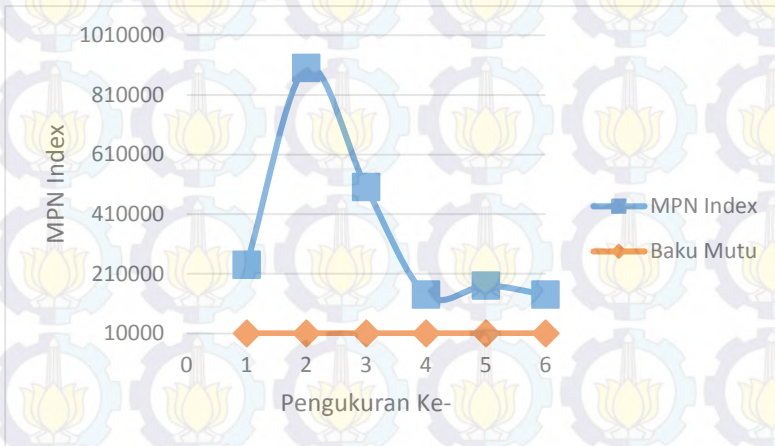
Gambar 5.8 Grafik Pengukuran PO₄³⁻ dengan Baku Mutu

- **Pengukuran dan Analisis Total Coliform/100 ml Air**

Pengukuran total coliform/100 ml air dilakukan berdasarkan *Standard Method* 2005. Hasil pengukuran menunjukkan total coliform tidak memenuhi baku mutu, yakni diatas 10.000 MPN/100 ml. Hal ini menunjukkan bahwa belum diketahuinya pengaruh klorinasi untuk menurunkan konsentrasi total coliform pada efluen air limbah. Tabel 5.8 dibawah menunjukkan konsentrasi Total Coliform/100 ml air tiap titik dan Gambar 5.9 perbandingan konsentrasi Total Coliform/100 ml air tiap titik dengan baku mutu.

Tabel 5.8 Konsentrasi Total Coliform/100 ml Air Rata-rata

MPN Index		Baku mutu
Inlet	Outlet	
1600000	348333	10000
Tidak memenuhi baku mutu		



Ket: Pengukuran ke-I : Selasa, 24 Maret 2015; Pengukuran ke-II : Rabu, 25 Maret 2015; Pengukuran ke-III : Kamis, 26 Maret 2015; Pengukuran ke-IV : Jumat, 27 Maret 2015; Pengukuran ke-V : Sabtu, 28 Maret 2015; Pengukuran ke-VI : Senin, 30 Maret 2015

Gambar 5.9 Grafik Pengukuran Total Coliform/100 ml Air dan Baku Mutu

Berdasarkan grafik pengukuran parameter dengan baku mutu diketahui bahwa parameter pH dan suhu memenuhi baku mutu. Suhu dan pH merupakan indikator terpenting untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme (Cortez *et al.*, 2008). Parameter lain seperti TSS, BOD, COD, NH₃-N bebas dan PO₄³⁻ tidak memenuhi baku mutu. Tabel 5.9 dibawah ini menunjukkan konsentrasi polutan rata-rata yang diolah pada IPAL disertai dengan baku mutu.

Tabel 5.9 Konsentrasi Polutan Rata-rata Outlet Air Limbah

Parameter	Konsentrasi atau besar	
	Baku mutu	Titik Outlet IPAL
pH	6-9	7,7
Suhu	25°C-30°C	25,4°C
TSS	30 mg/L	104,8 mg/L
COD	80 mg/L	183,3 mg/L
BOD	30 mg/L	102,8 mg/L
NH ₃ -N bebas	0,1 mg/L	1,4 mg/L
PO ₄ ³⁻	2 mg/L	8,1 mg/L
Total Coliform/100 ml	10000 MPN indeks	348333 MPN indeks
	Tidak memenuhi baku mutu	

5.3.3 Perhitungan Efisiensi *Removal*

Konsentrasi tiap parameter telah diketahui berdasarkan pengukuran harian. Besar penyisihan polutan pada tiap titik diketahui melalui efisiensi *removal*. Efisiensi *removal* diketahui berdasarkan perhitungan. Perhitungan efisiensi *removal* terlampir di Lampiran D. Selain itu, dihitung pula efisiensi *removal* tiap parameter secara keseluruhan untuk mengetahui persentase penyisihan sejak awal pengolahan hingga yang tersisa pada efluen akhir IPAL. Berikut ini merupakan perhitungan efisiensi *removal* dari masing-masing parameter dengan menggunakan persamaan (5.1).

- Efisiensi *Removal* Parameter TSS Rata-rata

Diketahui:

Konsentrasi Inlet rata-rata = 456 mg/L

Konsentrasi Outlet rata-rata = 104,8 mg/L

Perhitungan efisiensi *removal* adalah sebagai berikut:

$$\%R = \left(\frac{456 \text{ mg/L} - 104,8 \text{ mg/L}}{456 \text{ mg/L}} \right) \times 100\% = 77\%$$

- Efisiensi *Removal* Parameter COD Rata-rata

Diketahui:

Konsentrasi Inlet rata-rata = 293 mg/L

Konsentrasi Outlet rata-rata = 183,3 mg/L

Perhitungan efisiensi *removal* adalah sebagai berikut:

$$\%R = \left(\frac{293 \text{ mg/L} - 183,3 \text{ mg/L}}{293 \text{ mg/L}} \right) \times 100\% = 37,5\%$$

- Efisiensi *Removal* untuk Parameter BOD₅ Rata-rata

Diketahui:

Konsentrasi Inlet rata-rata = 158,1 mg/L

Konsentrasi Outlet rata-rata = 102,8 mg/L

Perhitungan efisiensi *removal* adalah sebagai berikut:

$$\%R = \left(\frac{158,1 \text{ mg/L} - 102,8 \text{ mg/L}}{158,1 \text{ mg/L}} \right) \times 100\% = 34,7\%$$

- Efisiensi *Removal* untuk Parameter NH₃-N Bebas Rata-rata

Diketahui:

Konsentrasi Inlet rata-rata = 158,1 mg/L

Konsentrasi Outlet rata-rata = 102,8 mg/L

Perhitungan efisiensi *removal* adalah sebagai berikut:

$$\%R = \left(\frac{8,1 \text{ mg/L} - 1,4 \text{ mg/L}}{8,1 \text{ mg/L}} \right) \times 100\% = 83,3\%$$

- Efisiensi *Removal* untuk Parameter PO₄³⁻ Rata-rata

Diketahui:

Konsentrasi Inlet rata-rata = 13,4 mg/L

Konsentrasi Outlet rata-rata = 8,1 mg/L

Perhitungan efisiensi *removal* adalah sebagai berikut:

$$\%R = \left(\frac{13,4 \text{ mg/L} - 8,1 \text{ mg/L}}{13,4 \text{ mg/L}} \right) \times 100\% = 39,1\%$$

- Efisiensi *Removal* untuk Parameter Total Coliform/100 ml Air

Diketahui:

Konsentrasi Inlet rata-rata = 1600000

Konsentrasi Outlet rata-rata = 348333

Perhitungan efisiensi *removal* adalah sebagai berikut:

$$\%R = \left(\frac{1600000 - 348333}{1600000} \right) \times 100\% = 78,2\%$$

Tabel 5.10 dibawah ini menunjukkan efisiensi rata-rata yang diolah pada IPAL disertai dengan kriteria desain

Tabel 5.10 Efisiensi *Removal* Rata-rata IPAL-Toksik

Parameter	Efisiensi <i>Removal</i>
TSS	68,2%
COD	36,2%
BOD	61,0%
NH3-N bebas	78,6%
PO ₄ ³⁻	34,9%
Total Coliform/100 ml air	78,2%

5.3.4 Perhitungan *Mass balance*

Neraca massa atau *mass balance* diperlukan untuk mengetahui beban polutan yang diolah dan dibuang pada masing-masing unit tiap harinya. Perhitungan *mass balance* eksisting dibagi menjadi dua (2) bagian, yakni berdasarkan debit rata-rata dan debit tertinggi. Debit rata-rata sebesar 43,78 m³/hari dan debit tertinggi sebesar 68,39 m³/hari. Berikut ini merupakan perhitungan *mass balance* dengan Gambar 5.10 dan 5.11 yang merupakan skema *mass balance* IPAL-Toksik dalam kondisi debit rata-rata

dan debit tertinggi dalam satu (1) minggu. Langkah perhitungan *mass balance* menggunakan persamaan (4.3) dan (4.4)

a) *Mass balance* dengan Q rata-rata dan Konsentrasi rata-rata

- Beban Titik Inlet

$$Q \text{ ave} = 43,78 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,507 \text{ L/detik}$$

$$\text{TSS} = 456 \text{ mg/L} = 4,56 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ TSS} &= Q \times \text{TSS} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 4,56 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 19,97 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{COD} = 292 \text{ mg/L} = 2,92 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ COD} &= Q \times \text{COD} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 2,92 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 12,79 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{BOD} = 158,1 \text{ mg/L} = 1,58 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ BOD} &= Q \times \text{BOD} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,58 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 6,92 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{NH}_3\text{-N} = 8,12 \text{ mg/L} = 8,12 \times 10^{-6} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ NH}_3\text{-N} &= Q \times \text{NH}_3\text{-N} \text{ bebas} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 8,12 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 0,35 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{PO}_4^{3-} = 13,3 \text{ mg/L} = 1,33 \times 10^{-5} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ PO}_4^{3-} &= Q \times \text{PO}_4^{3-} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,33 \times 10^{-5} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 0,58 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Total M} = 40,61 \text{ kg/hari}$$

- Beban Titik Influen (Inf) RBC

$$Q = 43,78 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,507 \text{ L/detik}$$

$$\text{TSS} = 248 \text{ mg/L} = 2,48 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ TSS} &= Q \times \text{TSS} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 2,48 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 10,86 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{COD} = 240 \text{ mg/L} = 2,4 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ COD} &= Q \times \text{COD} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 2,4 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 10,51 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{BOD} = 128,2 \text{ mg/L} = 1,28 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ BOD} &= Q \times \text{BOD} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,28 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 5,61 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{NH}_3\text{-N} = 4,4 \text{ mg/L} = 4,4 \times 10^{-6} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ NH}_3\text{-N} &= Q \times \text{NH}_3\text{-N bebas} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 4,4 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 0,19 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{PO}_4^{3-} = 10,5 \text{ mg/L} = 1,05 \times 10^{-5} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ PO}_4^{3-} &= Q \times \text{PO}_4^{3-} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,05 \times 10^{-5} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 0,46 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Total M} = 27,82 \text{ kg/hari}$$

- Beban *Removal* pada Bak Netralisasi

$$\begin{aligned} M \text{ TSS removal} &= M \text{ TSS Inlet} - M \text{ TSS Influen RBC} \\ &= 19,97 \text{ kg/hari} - 10,86 \text{ kg/hari} \\ &= 9,11 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ COD removal} &= M \text{ COD Inlet} - M \text{ COD Influen RBC} \\ &= 12,79 \text{ kg/hari} - 10,51 \text{ kg/hari} \\ &= 2,28 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ BOD removal} &= M \text{ BOD Inlet} - M \text{ BOD Influen RBC} \\ &= 6,92 \text{ kg/hari} - 5,61 \text{ kg/hari} \\ &= 1,31 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ NH}_3\text{-N remov} &= M \text{ NH}_3\text{-N Inlet} - M \text{ NH}_3\text{-N Influen RBC} \\ &= 0,35 \text{ kg/hari} - 0,19 \text{ kg/hari} \\ &= 0,16 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \text{ PO}_4^{3-} \text{ removal} &= M \text{ PO}_4^{3-} \text{ Inlet} - M \text{ PO}_4^{3-} \text{ Influen RBC} \\ &= 0,58 \text{ kg/hari} - 0,46 \text{ kg/hari} \\ &= 0,12 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$M \text{ removal total} = 12,98 \text{ kg/hari}$$

- Beban Titik Efluen (Ef) RBC

$$Q = 43,78 \text{ m}^3\text{/hari} = 0,507 \text{ L/detik}$$

$$\text{TSS} = 159 \text{ mg/L} = 1,59 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\begin{aligned} M \text{ TSS} &= Q \times \text{TSS} \times 1 \text{ hari} \\ &= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,59 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\ &= 6,96 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{COD} = 207 \text{ mg/L} = 2,07 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$M \text{ COD} = Q \times \text{COD} \times 1 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,507 \text{ L/detik} \times 2,07 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
&= 9,07 \text{ kg/hari} \\
\text{BOD} &= 113,6 \text{ mg/L} = 1,13 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \\
\text{M BOD} &= Q \times \text{BOD} \times 1 \text{ hari} \\
&= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,13 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
&= 4,95 \text{ kg/hari} \\
\text{NH}_3\text{-N} &= 2,7 \text{ mg/L} = 2,7 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \\
\text{M NH}_3\text{-N} &= Q \times \text{NH}_3\text{-N bebas} \times 1 \text{ hari} \\
&= 0,507 \text{ L/detik} \times 2,7 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
&= 0,12 \text{ kg/hari} \\
\text{PO}_4^{3-} &= 10 \text{ mg/L} = 1 \times 10^{-5} \text{ kg/L} \\
\text{M PO}_4^{3-} &= Q \times \text{PO}_4^{3-} \times 1 \text{ hari} \\
&= 0,507 \text{ L/detik} \times 1 \times 10^{-5} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
&= 0,44 \text{ kg/hari} \\
\text{Total M} &= 21,54 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

- Beban yang terolah pada unit RBC

$$\begin{aligned}
\text{M TSS removal} &= \text{M TSS Inf RBC} - \text{M TSS Efluen RBC} \\
&= 10,86 \text{ kg/hari} - 6,96 \text{ kg/hari} \\
&= 3,9 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{M COD removal} &= \text{M COD Inf RBC} - \text{M COD Efluen RBC} \\
&= 10,51 \text{ kg/hari} - 9,07 \text{ kg/hari} \\
&= 1,44 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{M BOD removal} &= \text{M BOD Inf RBC} - \text{M BOD Efluen RBC} \\
&= 5,61 \text{ kg/hari} - 4,95 \text{ kg/hari} \\
&= 0,66 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{M NH}_3\text{-N remov} &= \text{M NH}_3\text{-N In RBC} - \text{M NH}_3\text{-N Efluen RBC} \\
&= 0,19 \text{ kg/hari} - 0,12 \text{ kg/hari} \\
&= 0,07 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{M PO}_4^{3-} \text{ removal} &= \text{M PO}_4^{3-} \text{ Inf RBC} - \text{M PO}_4^{3-} \text{ Efluen RBC} \\
&= 0,46 \text{ kg/hari} - 0,44 \text{ kg/hari} \\
&= 0,02 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\text{M removal total} = 6,09 \text{ kg/hari}$$

- Beban Titik Outlet (yang terbangun ke badan air)

$$\begin{aligned}
Q &= 43,78 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,507 \text{ L/detik} \\
\text{TSS} &= 105 \text{ mg/L} = 1,05 \times 10^{-4} \text{ kg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{M TSS} &= Q \times \text{TSS} \times 1 \text{ hari} \\
&= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,05 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}
\end{aligned}$$

$$= 4,6 \text{ kg/hari}$$

$$\text{COD} = 183 \text{ mg/L} = 1,83 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\text{M COD} = Q \times \text{COD} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,83 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 8,02 \text{ kg/hari}$$

$$\text{BOD} = 102,8 \text{ mg/L} = 1,02 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\text{M BOD} = Q \times \text{BOD} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,02 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 4,47 \text{ kg/hari}$$

$$\text{NH}_3\text{-N} = 1,4 \text{ mg/L} = 1,4 \times 10^{-6} \text{ kg/L}$$

$$\text{M NH}_3\text{-N} = Q \times \text{NH}_3\text{-N bebas} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,507 \text{ L/detik} \times 1,4 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 0,06 \text{ kg/hari}$$

$$\text{PO}_4^{3-} = 8,1 \text{ mg/L} = 8,1 \times 10^{-6} \text{ kg/L}$$

$$\text{M PO}_4^{3-} = Q \times \text{PO}_4^{3-} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,507 \text{ L/detik} \times 8,1 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 0,35 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Total M} = 17,5 \text{ kg/hari}$$

- *Beban Removal* pada Bak Pengendap
 - $\text{M TSS removal} = \text{M TSS Efluen RBC} - \text{M TSS Outlet}$

$$= 6,96 \text{ kg/hari} - 4,6 \text{ kg/hari}$$

$$= 2,36 \text{ kg/hari}$$
 - $\text{M COD removal} = \text{M COD Efluen RBC} - \text{M COD Outlet}$

$$= 9,07 \text{ kg/hari} - 8,02 \text{ kg/hari}$$

$$= 1,05 \text{ kg/hari}$$
 - $\text{M BOD removal} = \text{M BOD Efluen RBC} - \text{M BOD Outlet}$

$$= 4,95 \text{ kg/hari} - 4,47 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,48 \text{ kg/hari}$$
 - $\text{M NH}_3\text{-N remov} = \text{M NH}_3\text{-N Efluen RBC} - \text{M NH}_3\text{-N Outlet}$

$$= 0,12 \text{ kg/hari} - 0,06 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,06 \text{ kg/hari}$$
 - $\text{M PO}_4^{3-} \text{ removal} = \text{M PO}_4^{3-} \text{ Efluen RBC} - \text{M PO}_4^{3-} \text{ Outlet}$

$$= 0,44 \text{ kg/hari} - 0,35 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,09 \text{ kg/hari}$$
 - $\text{M removal total} = 4,04 \text{ kg/hari}$

b) *Mass balance* pada Q tertinggi dan Konsentrasi rata-rata

- *Beban Titik Inlet*

$$\begin{aligned}
 Q \text{ peak} &= 68,39 \text{ m}^3/\text{hari} &= 0,792 \text{ L/detik} \\
 \text{TSS} &= 456 \text{ mg/L} &= 4,56 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \\
 \text{M TSS} &= Q \times \text{TSS} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 4,56 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 31,2 \text{ kg/hari} \\
 \text{COD} &= 292 \text{ mg/L} &= 2,92 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \\
 \text{M COD} &= Q \times \text{COD} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 2,92 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 19,98 \text{ kg/hari} \\
 \text{BOD} &= 158,1 \text{ mg/L} &= 1,58 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \\
 \text{M COD} &= Q \times \text{BOD} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,58 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 10,81 \text{ kg/hari} \\
 \text{NH}_3\text{-N} &= 8,12 \text{ mg/L} &= 8,12 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \\
 \text{M NH}_3\text{-N} &= Q \times \text{NH}_3\text{-N bebas} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 8,12 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 0,55 \text{ kg/hari} \\
 \text{PO}_4^{3-} &= 13,3 \text{ mg/L} &= 1,33 \times 10^{-5} \text{ kg/L} \\
 \text{M PO}_4^{3-} &= Q \times \text{PO}_4^{3-} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,33 \times 10^{-5} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 0,91 \text{ kg/hari} \\
 \text{Total M} &= 63,45 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- **Beban Titik Influen (Inf) RBC**

$$\begin{aligned}
 Q &= 68,39 \text{ m}^3/\text{hari} &= 0,792 \text{ L/detik} \\
 \text{TSS} &= 248 \text{ mg/L} &= 2,48 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \\
 \text{M TSS} &= Q \times \text{TSS} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 2,48 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 16,97 \text{ kg/hari} \\
 \text{COD} &= 240 \text{ mg/L} &= 2,4 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \\
 \text{M COD} &= Q \times \text{COD} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 2,4 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 16,43 \text{ kg/hari} \\
 \text{BOD} &= 128,2 \text{ mg/L} &= 1,28 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \\
 \text{M BOD} &= Q \times \text{BOD} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,28 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 8,76 \text{ kg/hari} \\
 \text{NH}_3\text{-N} &= 4,4 \text{ mg/L} &= 4,4 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \\
 \text{M NH}_3\text{-N} &= Q \times \text{NH}_3\text{-N bebas} \times 1 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 4,4 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 0,3 \text{ kg/hari}$$

$$\text{PO}_4^{3-} = 10,5 \text{ mg/L} = 1,05 \times 10^{-5} \text{ kg/L}$$

$$\text{M PO}_4^{3-} = \text{Q} \times \text{PO}_4^{3-} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,05 \times 10^{-5} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 0,72 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Total M} = 43,18 \text{ kg/hari}$$

- Beban *Removal* pada Bak Netralisasi

$$\text{M TSS removal} = \text{M TSS Inlet} - \text{M TSS Influen RBC}$$

$$= 31,2 \text{ kg/hari} - 16,97 \text{ kg/hari}$$

$$= 14,23 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M COD removal} = \text{M COD Inlet} - \text{M COD Influen RBC}$$

$$= 19,98 \text{ kg/hari} - 16,43 \text{ kg/hari}$$

$$= 3,55 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M BOD removal} = \text{M BOD Inlet} - \text{M BOD Influen RBC}$$

$$= 10,81 \text{ kg/hari} - 8,76 \text{ kg/hari}$$

$$= 2,05 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M NH}_3\text{-N remov} = \text{M NH}_3\text{-N Inlet} - \text{M NH}_3\text{-N Influen RBC}$$

$$= 0,55 \text{ kg/hari} - 0,3 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,25 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M PO}_4^{3-} \text{ removal} = \text{M PO}_4^{3-} \text{ Inlet} - \text{M PO}_4^{3-} \text{ Influen RBC}$$

$$= 0,91 \text{ kg/hari} - 0,72 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,19 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M removal total} = 20,27 \text{ kg/hari}$$

- Beban Titik Efluen (Ef) RBC

$$\text{Q} = 68,39 \text{ m}^3\text{/hari} = 0,792 \text{ L/detik}$$

$$\text{TSS} = 159 \text{ mg/L} = 1,59 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\text{M TSS} = \text{Q} \times \text{TSS} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,59 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 10,88 \text{ kg/hari}$$

$$\text{COD} = 207 \text{ mg/L} = 2,07 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\text{M COD} = \text{Q} \times \text{COD} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 2,07 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 14,16 \text{ kg/hari}$$

$$\text{BOD} = 113,6 \text{ mg/L} = 1,13 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\text{M BOD} = \text{Q} \times \text{BOD} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,13 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 7,73 \text{ kg/hari}$$

$$\text{NH}_3\text{-N} = 2,7 \text{ mg/L} = 2,7 \times 10^{-6} \text{ kg/L}$$

$$\text{M NH}_3\text{-N} = \text{Q} \times \text{NH}_3\text{-N bebas} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 2,7 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 0,18 \text{ kg/hari}$$

$$\text{PO}_4^{3-} = 10 \text{ mg/L} = 1 \times 10^{-5} \text{ kg/L}$$

$$\text{M PO}_4^{3-} = \text{Q} \times \text{PO}_4^{3-} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 1 \times 10^{-5} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 0,68 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Total M} = 43,18 \text{ kg/hari}$$

- Beban yang terolah pada unit RBC

$$\text{M TSS removal} = \text{M TSS Inf RBC} - \text{M TSS Efluen RBC}$$

$$= 16,97 \text{ kg/hari} - 10,88 \text{ kg/hari}$$

$$= 6,09 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M COD removal} = \text{M COD Inf RBC} - \text{M COD Efluen RBC}$$

$$= 16,43 \text{ kg/hari} - 14,16 \text{ kg/hari}$$

$$= 2,27 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M BOD removal} = \text{M BOD Inf RBC} - \text{M BOD Efluen RBC}$$

$$= 8,76 \text{ kg/hari} - 7,73 \text{ kg/hari}$$

$$= 1,03 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M NH}_3\text{-N remov} = \text{M NH}_3\text{-N In RBC} - \text{M NH}_3\text{-N Efluen RBC}$$

$$= 0,3 \text{ kg/hari} - 0,18 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,12 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M PO}_4^{3-} \text{ removal} = \text{M PO}_4^{3-} \text{ Inf RBC} - \text{M PO}_4^{3-} \text{ Efluen RBC}$$

$$= 0,72 \text{ kg/hari} - 0,68 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,04 \text{ kg/hari}$$

$$\text{M removal total} = 9,55 \text{ kg/hari}$$

- Beban Titik Outlet (yang terbuang ke badan air)

$$\text{Q} = 68,39 \text{ m}^3\text{/hari} = 0,792 \text{ L/detik}$$

$$\text{TSS} = 105 \text{ mg/L} = 1,05 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\text{M TSS} = \text{Q} \times \text{TSS} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,05 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 7,2 \text{ kg/hari}$$

$$\text{COD} = 183 \text{ mg/L} = 1,83 \times 10^{-4} \text{ kg/L}$$

$$\text{M COD} = \text{Q} \times \text{COD} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,83 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik}$$

$$= 12,52 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD} &= 102,8 \text{ mg/L} && = 1,02 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \\
 \text{M BOD} &= Q \times \text{BOD} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,02 \times 10^{-4} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 6,98 \text{ kg/hari} \\
 \text{NH}_3\text{-N} &= 1,4 \text{ mg/L} && = 1,4 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \\
 \text{M NH}_3\text{-N} &= Q \times \text{NH}_3\text{-N bebas} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 1,4 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 0,09 \text{ kg/hari} \\
 \text{PO}_4^{3-} &= 8,1 \text{ mg/L} && = 8,1 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \\
 \text{M PO}_4^{3-} &= Q \times \text{PO}_4^{3-} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,792 \text{ L/detik} \times 8,1 \times 10^{-6} \text{ kg/L} \times 86400 \text{ detik} \\
 &= 0,55 \text{ kg/hari} \\
 \text{Total M} &= 27,34 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- *Beban Removal* pada Bak Pengendap
 - M TSS *removal* = M TSS Efluen RBC – M TSS Outlet
 - = 10,88 kg/hari – 7,2 kg/hari
 - = 3,68 kg/hari
 - M COD *removal* = M COD Efluen RBC – M COD Outlet
 - = 14,16 kg/hari – 12,52 kg/hari
 - = 1,64 kg/hari
 - M BOD *removal* = M BOD Efluen RBC – M BOD Outlet
 - = 7,73 kg/hari – 6,98 kg/hari
 - = 0,75 kg/hari
 - M NH₃-N *remov* = M NH₃-N Efluen RBC – M NH₃-N Outlet
 - = 0,18 kg/hari – 0,09 kg/hari
 - = 0,09 kg/hari
 - M PO₄³⁻ *removal* = M PO₄³⁻ Efluen RBC – M PO₄³⁻ Outlet
 - = 0,68 kg/hari – 0,55 kg/hari
 - = 0,13 kg/hari
 - M *removal total* = 6,29 kg/hari

M TSS = 19,97 kg/hari
 M COD = 12,79 kg/hari
 M BOD = 6,92 kg/hari
 M NH₃-N = 0,35 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,58 kg/hari
 Total M = 40,61 kg/hari

**Bak
 Netralisasi**

M TSS = 10,66 kg/hari
 M COD = 10,51 kg/hari
 M BOD = 5,61 kg/hari
 M NH₃-N = 0,19 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,46 kg/hari
 Total M = 27,82 kg/hari

RBC

M TSS = 6,96 kg/hari
 M COD = 9,07 kg/hari
 M BOD = 4,95 kg/hari
 M NH₃-N = 0,12 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,44 kg/hari
 Total M = 21,54 kg/hari

**Bak
 Pengendap**

M TSS = 4,6 kg/hari
 M COD = 8,02 kg/hari
 M BOD = 4,47 kg/hari
 M NH₃-N = 0,06 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,35 kg/hari
 Total M = 17,5 kg/hari

MRemov TSS = 3,9 kg/hari
 MRemov COD = 1,44 kg/hari
 MRemov BOD = 0,66 kg/hari
 MRemov NH₃-N = 0,07 kg/hari
 MRemov PO₄³⁻ = 0,02 kg/hari
 Total MRemov = 6,09 kg/hari

M TSS = 3,9 kg/hari
 M COD = 1,44 kg/hari
 M BOD = 0,66 kg/hari
 M NH₃-N = 0,07 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,02 kg/hari
 Total M = 6,09 kg/hari

M TSS = 2,36 kg/hari
 M COD = 1,05 kg/hari
 M BOD = 0,48 kg/hari
 M NH₃-N = 0,06 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,09 kg/hari
 Total M = 4,04 kg/hari

Gambar 5.10 Mass balance dengan Q rata-rata dan konsentrasi rata-rata

M TSS = 31,2 kg/hari
 M COD = 19,98 kg/hari
 M BOD = 10,81 kg/hari
 M NH₃-N = 0,55 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,91 kg/hari
 Total M = 63,45 kg/hari

**Bak
 Netralisasi**

M TSS = 16,97 kg/hari
 M COD = 16,43 kg/hari
 M BOD = 8,76 kg/hari
 M NH₃-N = 0,3 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,72 kg/hari
 Total M = 43,18 kg/hari

RBC

M TSS = 10,88 kg/hari
 M COD = 14,16 kg/hari
 M BOD = 7,73 kg/hari
 M NH₃-N = 0,18 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,88 kg/hari
 Total M = 33,63 kg/hari

**Bak
 Pengendap**

M TSS = 7,2 kg/hari
 M COD = 12,52 kg/hari
 M BOD = 6,98 kg/hari
 M NH₃-N = 0,09 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,55 kg/hari
 Total M = 27,34 kg/hari

MRemov TSS = 14,23 kg/hari
 MRemov COD = 3,55 kg/hari
 MRemov BOD = 2,05 kg/hari
 MRemov NH₃-N = 0,25 kg/hari
 MRemov PO₄³⁻ = 0,19 kg/hari
 Total MRemov = 20,27 kg/hari

M TSS = 6,09 kg/hari
 M COD = 2,27 kg/hari
 M BOD = 1,03 kg/hari
 M NH₃-N = 0,12 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,04 kg/hari
 Total M = 9,55 kg/hari

M TSS = 3,68 kg/hari
 M COD = 1,64 kg/hari
 M BOD = 0,75 kg/hari
 M NH₃-N = 0,09 kg/hari
 M PO₄³⁻ = 0,13 kg/hari
 Total M = 6,29 kg/hari

Gambar 5.11 Mass balance dengan Q tertinggi dan konsentrasi rata-rata

5.2 Pengukuran Dimensi Bangunan

Pengukuran dimensi eksisting dilakukan sebagai dasar pertimbangan dalam *review* desain. Dimensi didapatkan dari hasil cetak denah dan potongan IPAL yang tertera dalam *manual book* IPAL. Gambar denah dan potongan IPAL terlampir pada Lampiran B. Disertakan pula spesifikasi dan asesoris yang digunakan sebagai penunjang IPAL seperti yang terlampir pada Lampiran F

Unit IPAL-Toksik didesain untuk mengolah air limbah dalam kapasitas maksimal 100 m³/hari. Namun, pada saat pengukuran debit harian debit tertinggi IPAL-Toksik hanya mencapai 68,39 m³/hari. Terdapat tiga (3) unit bangunan yang masih digunakan dari beberapa bangunan yang ada. Bangunan tersebut antara lain bak netralisasi, unit RBC, bak pengendap dan proses desinfeksi dengan klorinasi.

a) Bak Netralisasi

Bak Netralisasi terbagi menjadi tiga (3) kompartemen yang dipisahkan oleh dinding beton dengan ketebalan 20 cm dan hanya dihubungkan oleh *sparring pipe* Ø 6". Selain berfungsi untuk menstabilkan nilai pH air limbah yang akan diolah, bak netralisasi juga berfungsi sebagai bak pengendap 1. Kompartemen 1 berfungsi sebagai bak netralisasi sedangkan kompartemen 2 dan 3 berfungsi sebagai bak pengendap 1. Menurut Goel *et al.*, (2005) kompartemen 1 pada bak netralisasi pada IPAL-Toksik memiliki jenis *In-Plant Neutralization*, yakni pembubuhan bahan kimia bergantung pada kondisi pH influen. Tabel 5.11 dibawah ini merupakan dimensi dari masing-masing kompartemen.

Tabel 5.11 Dimensi Bak Netralisasi

Kompartemen 1	Kompartemen 2	Kompartemen 3
Panjang = 1,5 m	Panjang = 1 m	Panjang = 2,8 m
Lebar = 1,7 m	Lebar = 1,7 m	Lebar = 1,7 m
T Bak = 1,75 m	T bak = 1,75 m	T bak = 1,75 m
T Efektif = 1,3 m	T Efektif = 1,17 m	T Efektif = 1,12 m
<i>Freeboard</i> = 0,45 m	<i>Freeboard</i> = 0,58 m	<i>Freeboard</i> = 0,63 m
V Bak = 4 m ³	V. Bak = 2,97 m ³	V. Bak = 8,33 m ³
V Efektif = 3,32 m ³	V. Efektif = 2 m ³	V. Efektif = 5,33 m ³

b) Unit RBC

Unit *Rotating Biological Contactor* (RBC) merupakan unit terpenting dari keseluruhan IPAL-Toksik karena berfungsi sebagai unit pengolahan biologis utama. Terdapat 3 *stage* pada unit RBC dengan diameter yang berbeda-beda. Unit pengolahan ini memanfaatkan daya listrik sebagai sumber energi. Berikut ini merupakan dimensi dari unit RBC:

Dimensi:

Panjang *shaft* total = 2,88 m; \varnothing = 2 m; V. Bak = 5,03 m³

Panjang *stage* 1 = 0,8 m

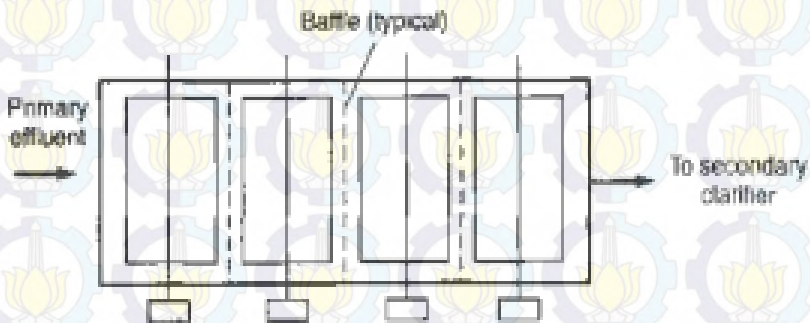
Panjang *stage* 2 = 0,62 m

Panjang *stage* 3 = 0,57 m

Luas permukaan media = 610 m²

Daya Gear = 0,75 kWh

Unit RBC yang digunakan pada IPAL-Toksik termasuk dalam jenis RBC kecil. Ukuran luas permukaan media RBC untuk unit standar dalam pengolahan limbah industri sebesar 9300 m². Kondisi *shaft* unit RBC berada diatas permukaan air, seperti unit RBC pada umumnya (Williams, 2011). Jenis bahan media yang digunakan sama yakni HDPE. Unit RBC tidak memiliki atap tersendiri. Penyusunan *stage* unit RBC adalah tipe *perpendicular* berdasarkan Tchobanoglous *et al.*, 2002. Gambar 5.12 menunjukkan tipe *perpendicular* pada RBC.



Gambar 5.12 Tipe *Perpendicular* RBC (Tchobanoglous, *et al.*, 2002)

c) Bak Pengendap

Bak pengendap terbagi dalam dua (2) kompartemen. Kompartemen dipisahkan oleh dinding beton dengan ketebalan 20 cm dan hanya dihubungkan oleh *sparring pipe* Ø 6". Tiap kompartemen memiliki dimensi yang berbeda. Tabel 5.12 berikut merupakan dimensi dari masing-masing kompartemen. Kompartemen 1 berfungsi sebagai bak pengendap 2 sedangkan kompartemen 2 berfungsi sebagai penampung effluen yang selanjutnya dipompa ke atas menuju pembuangan.

Tabel 5.12 Dimensi Bak Pengendap

Kompartemen 1	Kompartemen 2
Panjang = 2 m	Panjang = 2,8 m
Lebar = 2,8 m	Lebar = 1,3 m
Tinggi Bak = 2,45 m	Tinggi Bak = 2,45 m
Tinggi Efektif = 1,8 m	Tinggi Efektif = 1,8 m
<i>Freeboard</i> = 0,65 m	<i>Freeboard</i> = 0,65 m
Volume Kompartemen = 10,08 m ³	Volume Kompartemen = 6,55 m ³
Volume Efektif = 13,72 m ³	Volume Efektif = 8,92 m ³

5.3 Evaluasi Kinerja

Evaluasi kinerja merupakan suatu upaya untuk menilai bagaimanakah kinerja dari masing-masing unit. Kriteria penilaian dari evaluasi kinerja berdasarkan efisiensi *removal* eksisting dari masing-masing unit. Rekomendasi akan diberikan apabila unit tersebut belum memenuhi efisiensi *removal* yang diharapkan. Berikut ini merupakan evaluasi kinerja dari masing-masing unit.

5.3.1 Evaluasi Kinerja Bak Netralisasi

Selain berfungsi untuk menstabilkan nilai pH air limbah yang akan diolah, bak ini juga berfungsi sebagai bak pengendap 1. Kompartemen 2 dan 3 merupakan kompartemen yang berfungsi sebagai bak pengendap. Efisiensi *removal* pada bak netralisasi diketahui dari persentase selisih konsentrasi parameter yang masuk (titik inlet) dengan konsentrasi parameter yang keluar (titik

Influen RBC). Tabel 5.13 berikut merupakan efisiensi *removal* bak netralisasi.

Tabel 5.13 Efisiensi *Removal* Rata-rata Bak Netralisasi

Parameter	Kriteria Desain*	Kondisi Eksisting
BOD	30 – 40%	20,0%
TSS	50 – 65%	45,6%
COD	30 – 40%	11,4%
NH ₃ -N bebas	0%	46,1%
PO ₄ ³⁻	10 – 20%	21,3%
Tidak sesuai		

* Kompartemen 2 dan 3 sebagai bak pengendap 1, Qasim, (1985)

Efisiensi *removal* bak netralisasi dibandingkan dengan kriteria desain. Hasil perbandingan tersebut menyatakan bahwa penyisihan parameter BOD, TSS, COD belum optimal. Hal ini dapat disebabkan kurang sempurnanya proses pengendapan. Selain itu, konsentrasi lumpur yang belum dikuras menyebabkan bak ini mengalami penurunan efisiensi.

5.3.2 Evaluasi Kinerja Unit RBC

Evaluasi kinerja unit RBC dilihat dari kemampuan unit RBC untuk mengolah air limbah yang ada. Kemampuan tersebut dapat dilihat dari efisiensi *removal* unit RBC. Berdasarkan kemampuan unit RBC untuk mengurai air limbah, selanjutnya dapat dianalisis jenis RBC. Efisiensi Tabel 5.14 dibawah ini merupakan efisiensi *removal* tiap parameter unit RBC.

Tabel 5.14 Efisiensi *Removal* Tiap Parameter Unit RBC

Hari Ke-	Nilai pH		% <i>Removal</i>
	Inf RBC	Ef RBC	
I	8,0	8,0	0,00%
II	8,1	8,0	1,23%
III	7,5	7,4	1,20%
IV	7,5	7,4	1,20%
V	7,9	7,7	1,78%
VI	7,7	7,6	0,78%

Suhu (°C)			
Hari Ke-	Inf RBC	Ef RBC	% Removal
I	27	27	0,00%
II	25,1	25	0,40%
III	25,5	25,5	0,00%
IV	25,2	25	0,79%
V	25	25	0,00%
VI	25,6	25,6	0,00%
Konsentrasi TSS (mg/L)			
Hari Ke-	Inf RBC	Ef RBC	% Removal
I	260	164	36,92%
II	576	280	51,39%
III	116	88	24,14%
IV	276	204	26,09%
V	156	144	7,69%
VI	104	72	30,77%
Konsentrasi COD (mg/L)			
Hari Ke-	Inf RBC	Ef RBC	% Removal
I	220	180	18,18%
II	360	300	16,67%
III	260	240	7,69%
IV	200	160	20,00%
V	260	120	53,85%
VI	260	240	7,69%
Konsentrasi BOD ₅ (mg/L)			
Hari Ke-	Inf RBC	Ef RBC	% Removal
I	105	105	0,00%
II	71	46	35,21%
III	212	178	16,04%
IV	187	186	0,53%
V	100	91	9,00%
VI	82	66	19,51%
Konsentrasi NH ₃ -N bebas (mg/L)			
Hari Ke-	Inf RBC	Ef RBC	% Removal
I	4,5	1,7	62,22%
II	8,5	7,9	7,06%
III	6,3	2,8	55,56%
IV	4,7	2,2	53,19%
V	1,2	0,8	33,33%
VI	1,2	0,8	33,33%

Konsentrasi PO ₄ ³⁻ bebas (mg/L)			
Hari Ke-	Inf RBC	Ef RBC	% Removal
I	13,3	12,7	4,51%
II	8,6	8,3	3,49%
III	12,6	12,2	3,17%
IV	12,3	11	10,57%
V	8,3	8,3	0,00%
VI	7,8	7,7	1,28%

Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa terjadi proses nitrifikasi pada unit RBC. Proses nitrifikasi terjadi karena tingginya konsentrasi organik yang diolah pada RBC menyebabkan proses nitrifikasi maksimal terjadi (Cortez *et al.*, 2008). Efisiensi *removal* PO₄³⁻ yang rendah dapat diakibatkan dari komposisi nutrisi mikroorganisme tidak sesuai, sehingga proses pembentukan energi mikroorganisme tidak berjalan maksimal (Lin, 1999). Menurut Demetrios, *et al.*, (2003) adanya *removal* pada unit RBC menunjukkan terjadinya proses pengendapan partikel dibagian bawah *disk* akibat proses *sloughing* yang berlebihan dan tidak teralirkan menuju bak pengendap. Diperlukan pengurasan endapan secara periodik agar unit RBC tetap mampu mengolah air limbah dengan baik (US EPA, 1984).

5.3.3 Evaluasi Kinerja Bak Pengendap

Efisiensi *removal* dari bak pengendap ini diketahui diketahui dari persentase selisih konsentrasi parameter yang masuk (titik efluen RBC) dengan konsentrasi parameter yang keluar (titik outlet). Efisiensi *removal* dari bak pengendap diketahui dari kemampuan bak untuk mengendapkan partikel-partikel yang terbentuk akibat proses penyisihan polutan pada unit RBC. Berdasarkan segi desain, bak pengendap ini hampir sama seperti bak pengendap 1 pada bak netralisasi. Tabel 5.15 berikut merupakan efisiensi *removal* bak pengendap.

Tabel 5.15 Efisiensi *Removal* Rata-rata Bak Pengendap

Parameter	Kriteria Desain*	Kondisi Eksisting
BOD	80 – 95%	8,1%
TSS	70 – 90%	33,9%

Parameter	Kriteria Desain*	Kondisi Eksisting
COD	80 – 90%	11,3%
NH ₃ -N bebas	85 – 95%	32,6%
PO ₄ ³⁻	10 – 15%	19,7%
Tidak Sesuai		

* Qasim, 1985

Berdasarkan perbandingan kriteria desain dan kondisi eksisting bak pengendap diketahui bahwa efisiensi *removal* unit ini adalah paling rendah dibandingkan dengan unit lain. Fungsi bak pengendap ini sangat vital karena unit terakhir pada proses pengolahan air limbah sebelum dibuang ke badan air. Rendahnya *removal* ini mengakibatkan tingginya polutan yang lolos proses pengendapan sehingga efluen IPAL menjadi melebihi baku mutu.

5.3.4 Evaluasi Kinerja Unit Desinfeksi

Desinfeksi berkaitan dengan penurunan jumlah bakteri coliform yang ada pada efluen akhir air limbah agar memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Desinfeksi yang digunakan berupa klorinasi dengan menginjeksikan larutan NaOCl pada pipa outlet, sehingga tidak digunakan bangunan khusus untuk proses desinfeksi. Tabel 5.16 ini merupakan efisiensi *removal* dari proses desinfeksi.

Tabel 5.16 Evaluasi Kinerja Unit Desinfeksi

Parameter	Kriteria Desain*	Kondisi Eksisting
Total Coliform	10000 MPN index	348333 MPN index
Efisiensi <i>Removal</i>	Harus mampu menurunkan total coliform hingga 10000 MPN index	78,2% (efluen akhir sebesar 348333 MPN index)

* Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72/2013

Hasil perbandingan diatas menunjukkan bahwa proses desinfeksi belum optimal. Proses desinfeksi hanya mampu menurunkan 78,2% total coliform yang ada pada air limbah. Berdasarkan perhitungan dibutuhkan efisiensi *removal* sebanyak 99% agar efluen air limbah memenuhi baku mutu. Rendahnya efisiensi unit desinfeksi dapat disebabkan rendahnya dosis klor

yang digunakan. Berdasarkan efisiensi *removal* pada kriteria desain dapat diketahui konsentrasi air limbah yang terolah dan yang lolos proses pengolahan.

Secara umum, proses penyisihan terganggu apabila terlalu banyak lumpur yang mengendap (Lin, 1999). Apabila proses penyisihan terganggu maka akan mengakibatkan penurunan efisiensi unit dalam mengolah air limbah. Tabel 5.17 dibawah ini menunjukkan konsentrasi air limbah rata-rata yang dapat ter-*removal* dengan menggunakan efisiensi *removal* pada kriteria desain tiap unit. Perhitungan ini sekaligus untuk mengetahui konsentrasi efluen.

Tabel 5.17 *Removal* Polutan dengan Efisiensi *Removal* Kriteria Desain

Parameter	BP 1			
	Inlet	% R	<i>Removal</i>	Effluen
BOD	158 mg/L	30%	47,4 mg/L	111 mg/L
TSS	456 mg/L	65%	296 mg/L	159 mg/L
COD	293 mg/L	30%	88 mg/L	205 mg/L
NH ₃ -N bebas	8,1 mg/L	0%	0 mg/L	8,1 mg/L
PO ₄ ³⁻	13,4 mg/L	75%	10 mg/L	3,35 mg/L
	RBC dan BP 2			
BOD	111 mg/L	80%	88,8 mg/L	22,2 mg/L
TSS	159 mg/L	80%	127 mg/L	30 mg/L
COD	205 mg/L	80%	164 mg/L	41 mg/L
NH ₃ -N bebas	8,1 mg/L	95%	8 mg/L	0,1 mg/L
PO ₄ ³⁻	3,35 mg/L	10%	0,335 mg/L	3 mg/L

Perhitungan diatas merupakan proses *removal* polutan dalam kondisi sesuai dengan kriteria desain dan tanpa memperhatikan rasio BOD:N:P. Berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa polutan dapat *diremoval* dengan baik apabila kondisi bangunan ideal/sesuai dengan kriteria desain. Beberapa parameter polutan masih ada yang berada sambang batas baku mutu, seperti parameter TSS dan NH₃-N bebas. Hal ini merupakan salah satu acuan bahwa IPAL-Toksik tetap membutuhkan perhitungan rasio BOD:N:P yang tepat agar proses penyisihan polutan berjalan dengan baik.

5.4 **Review Desain**

Review desain merupakan suatu upaya untuk mengetahui apakah masing-masing bangunan yang terdapat pada IPAL berfungsi maksimal atau tidak. Kriteria penilaian dari *review* desain berdasarkan kriteria desain dari masing-masing unit. Apabila terdapat unit bangunan yang belum sesuai dengan desain yang telah ada maka akan diberikan rekomendasi. Pada *review* desain ini tidak diperkenankan untuk membongkar dinding bangunan yang ada. Hal ini bertujuan untuk tidak mengganggu kinerja bangunan yang telah ada dan bersifat menghemat. *Review* desain juga bertujuan untuk memaksimalkan unit bangunan yang telah ada sebelumnya. Berikut ini merupakan *review* desain dari masing-masing unit.

5.4.1 **Review Desain Bak Netralisasi**

Review desain bak netralisasi mengacu pada kriteria desain 2 unit pengolahan, yakni bak netralisasi dan bak pengendap 1. Kedua jenis bak tersebut memiliki kriteria desain yang berbeda sehingga memerlukan *review* desain yang berbeda. Berikut ini merupakan *review* desain bak netralisasi.

a) *Review* Desain Kompartemen 1

Kriteria desain bak netralisasi pada unit ini disamakan dengan kriteria desain bak ekualisasi karena terdapat kesamaan fungsi, yakni untuk menghomogenkan aliran air limbah yang masuk. Pengukuran debit *diurnal* tidak dapat dilakukan karena posisi pipa inlet ataupun outlet bak tertutup beton. Pengukuran volume memakai metode lain, yakni menghitung selisih volume tertinggi dikurangi dengan volume terendah pada satu rentang waktu tertentu (Goel *et al.*, 2005). Kompartemen 1 bak netralisasi berfungsi sebagai unit netralisasi. Proses netralisasi diperlukan untuk *pretreatment* sebelum dilakukan pengolahan fisik dan biologis (Goel *et al.*, 2005). *Mixer* yang terdapat pada bak ini juga berfungsi sebagai pengaduk air limbah yang masuk untuk

mencapai rentang nilai pH 6 – 8. Berikut ini merupakan perhitungan *review* desain bangunan kompartemen 1.

$$\begin{aligned}
 Q \text{ maksimal pengolahan} &= 100 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 1,16 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Volume selama 1 jam} &= 1,16 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \\
 &= 4,176 \text{ m}^3 \\
 Q \text{ terendah saat pengukuran} &= 13,14 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 1,53 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Volume selama 1 jam} &= 1,53 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik} \times 3600 \\
 &= 0,551 \text{ m}^3 \\
 \text{Selisih volume} &= 4,176 \text{ m}^3 - 0,551 \text{ m}^3 \\
 &= 3,625 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume bak} &= P \times l \times t \text{ bak} \\
 &= 1,5 \text{ m} \times 1,7 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \\
 &= 4,46 \text{ m}^3 \\
 \text{HRT saat Q maksimal} &= \frac{\text{Volume}}{Q \text{ maks pengolahan}} \\
 \text{pengolahan terjadi} &= \frac{3,625 \text{ m}^3}{0,00116 \text{ m}^3/\text{detik}} \\
 &= 3125 \text{ detik} \\
 &= 0,036 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Pengukuran volume memakai metode lain, yakni menghitung selisih volume tertinggi dikurangi dengan volume terendah pada satu rentang waktu tertentu. Hal ini dikarenakan tidak diketahuinya aliran debit tiap jam. Debit pertama yang digunakan adalah debit maksimal pengolahan yakni 100 m³/hari. Debit ini digunakan karena merupakan kapasitas pengolahan maksimum yang mampu diolah IPAL. Debit kedua yang digunakan adalah debit terendah saat pengukuran debit harian, yakni 13,14 m³/hari, Debit ini digunakan karena merupakan debit terendah yang pernah tercatat selama pengukuran debit harian. Volume selama satu (1) jam dari masing-masing debit dicari selisihnya, sehingga didapatkan volume terbesar yang terjadi apabila debit terendah dan debit maksimal pengolahan datang dalam rentang waktu yang berurutan.

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa bak netralisasi mampu menampung volume tertinggi apabila volume bak netralisasi dihitung dengan waktu (t) maksimal (melebihi *freeboard*). Oleh karena itu, desain bak netralisasi sudah memenuhi kriteria desain yang ada. Tabel 5.18 dibawah ini menunjukkan *review* desain dari bak netralisasi.

Tabel 5.18 *Review* Desain Bak Netralisasi Kompartemen 1

Parameter	Kondisi Eksisting	Kondisi Ideal	Keterangan	Rekomendasi
Volume	4,08 m ³	3,625 m ³	Memenuhi	-

b) *Review* Desain Kompartemen 2 dan 3

Review desain untuk kompartemen 2 dan 3 mengacu pada kriteria desain unit bak pengendap 2. Partikel yang diendapkan pada bak pengendap adalah material organik. Tabel 5.19 berikut merupakan kriteria desain bak pengendap.

Tabel 5.19 Kriteria Desain Bak Pengendap

Parameter	Kriteria Desain*
HRT	1,5 – 2,5 jam
HLR	16 – 24 m ³ /m ² .hari
NRe	< 2000
NFr	< 10 ⁻⁵
β (material organik)	0,06
Ø (material organik)	0,2 mm
Faktor friksi darcy-weisbach	0,03
<i>Specific gravity</i> (Sg)	1,15
Viskositas Kinematis (25°C)	0,893 x 10 ⁻⁶ m ² /detik

* Lin, 1999

Berikut ini merupakan perhitungan dari masing-masing kriteria desain.

Panjang = 3,8 m
 Lebar = 1,7 m
 Tinggi = 1,17 m

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= P \times l \times t \\ &= 3,8 \text{ m} \times 1,7 \text{ m} \times 1,17 \text{ m} \\ &= 7,56 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ rata-rata} &= 43,78 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,00051 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{\text{Volume}}{Q \text{ rata-rata}} \\ &= \frac{7,56 \text{ m}^3}{0,00051 \text{ m}^3/\text{detik}} \\ &= \mathbf{14820 \text{ detik} = 4,1 \text{ jam}} \\ &\text{(tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HLR} &= \frac{Q \text{ rata-rata}}{A \text{ surface}} \\ &= \frac{0,00051 \text{ m}^3/\text{detik}}{(3,8 \text{ m} \times 1,7 \text{ m})} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{detik} \\ &= \mathbf{6,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \\ &\text{(tidak memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan horizontal (Vh)} &= \frac{Q}{P \times t} \\ &= \frac{43,78 \text{ m}^3/\text{detik}}{3,8 \text{ m} \times 1,17 \text{ m}} \\ &= 9,85 \text{ m/hari} \\ &= 1,14 \times 10^{-4} \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan scouring (Vsc)} &= \left(\frac{8\beta (Sg - 1) dg}{f} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \left(\frac{8 \times 0,06 (1,15 - 1) 981 \times 0,02}{0,03} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 6,8 \text{ cm/detik} \\ &= 0,068 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= \frac{hb}{(2h + b)} \\ &= \frac{1,17 \times 1,7}{(2 \times 1,17 + 1,7)} \\ &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NRe} &= \frac{Vh \times R}{\nu} \\
 &= \frac{0,0001 \text{ m/detik} \times 0,5 \text{ m}}{0,893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}} \\
 &= \mathbf{63,83} \\
 &\text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NFr} &= \frac{Vh^2}{g \times R} \\
 &= \frac{0,00026 \text{ m/detik}^2}{9,81 \times 0,5 \text{ m}} \\
 &= \mathbf{1,38 \times 10^{-8}} \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan *review* desain diatas didapatkan hasil bahwa kriteria desain yang tidak terpenuhi adalah HRT dan HLR. Proses pengendapan tidak berjalan sempurna karena bak memiliki HRT yang panjang, yakni 4,1 jam dan memiliki HLR yang lebih pendek, yakni 6,8 m³/m².hari. Kriteria HLR tidak memenuhi dikarenakan beban permukaan yang kecil. Beban permukaan yang kecil membutuhkan luas permukaan yang luas agar efisiensi pengendapan makin tinggi (Tchobanoglous *et al.*, 2002). Ukuran bak yang kecil menyebabkan nilai HLR kecil. Kriteria HLR yang tidak memenuhi karena debit yang terolah dibawah kapasitas maksimum. Oleh karena itu diperlukan penambahan air dari sumber air limbah lain menuju ke inlet bak netralisasi.

Air yang ditambahkan berasal dari effluen masjid. Air effluen masjid berasal dari air bekas wudu dan effluen *greywater* kamar mandi. Air bekas wudu dan effluen *greywater* masjid mengalir menuju drainase. Air pada drainase tersebut akan disadap dan dialirkan menuju bak netralisasi. Debit air yang digunakan disesuaikan dengan nilai HLR dan HRT agar kedua parameter tersebut terpenuhi. Berikut ini merupakan perhitungan HRT dan HLR yang baru setelah dilakukan penambahan air.

$$\begin{aligned}
 \text{HLR rencana} &= \mathbf{16 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}} \\
 \text{A surface} &= P \times l
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,8 \text{ m} \times 1,7 \text{ m} \\
 &= 6,46 \text{ m}^2 \\
 \text{Q yang dibutuhkan} &= \text{HLR} \times \text{A surface} \\
 &= 16 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \times 6,46 \text{ m}^2 \\
 &= 103,3 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,0012 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{HRT rencana} &= \frac{\text{Volume}}{Q \text{ yang dibutuhkan}} \\
 &= \frac{7,56 \text{ m}^3}{0,0012 \text{ m}^3/\text{detik}} \\
 &= 6300 \text{ detik} \\
 &= \mathbf{1,75 \text{ jam}} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

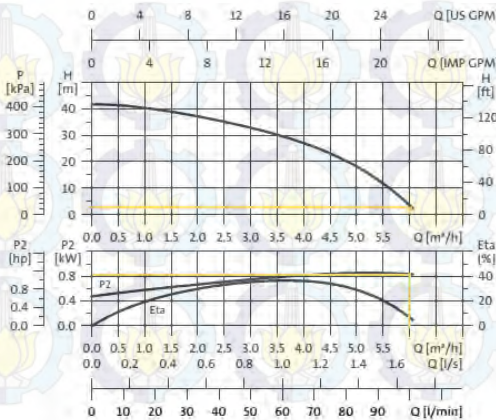
Debit yang dibutuhkan sebesar 103,3 m³/hari atau melebihi sedikit dari kapasitas maksimum IPAL-Toksik dalam mengolah air limbah yang masuk, yakni sebesar 100 m³/hari. HLR yang diambil berupa HLR paling rendah (16 m³/m².hari) karena pada saat perhitungan Q yang dibutuhkan telah mencapai kapasitas maksimum IPAL-Toksik dan volume air yang dapat ditampung oleh bak netralisasi kompartemen 1. Oleh karena itu, debit air yang ditambahkan adalah selisih dari Q yang dibutuhkan dengan Q rata-rata air limbah saat ini. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Manan *et al.*, (2006) air bekas wudu yang terbuang setiap harinya rata-rata sebesar 25 m³/hari – 60 m³/hari. Debit air tersebut dapat dimanfaatkan sebagai suplai air tambahan agar proses pengolahan air limbah IPAL-Toksik dapat berjalan. Berikut ini merupakan perhitungan debit yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned}
 \text{Q rata-rata} &= 0,00051 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Q yang dibutuhkan} &= 0,0012 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Q tambahan} &= \text{Q yang dibutuhkan} - \text{Q rata-rata} \\
 &= 0,0012 \text{ m}^3/\text{detik} - 0,00051 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 0,0007 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 59 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Air yang dibutuhkan sebesar 59 m³/hari. Selanjutnya merupakan perhitungan dimensi pipa dan jenis pompa. Pipa

suction diletakkan didalam drainase. Letak drainase yang dipilih adalah drainase yang memiliki titik terdekat dengan IPAL. Pipa *discharge* dimasukkan kedalam bak netralisasi kompartemen 1. Berikut ini merupakan perhitungan jenis pompa yang digunakan untuk memompa air dari drainase menuju IPAL dengan kurva performa pompa yang tersaji pada Gambar 5.13.

- Merk = **Grundfos NS Basic 3-40**
- Jenis pompa = **Twin Impeller Pump**
- Daya = **800 Watt**
- Head pipa = **2,0 m**
- (berdasarkan pengukuran)
- Q pompa = **0,0016 m³/detik**
- = **0,01 m³/menit**
- Ø Discharge = **1 ½"**
- = **0,04 m**
- v pipa =
$$= \frac{Q}{\pi r^2}$$
- = **0,0016 m³/detik**
- =
$$= \frac{\pi 0,02^2}{\pi 0,02^2}$$
- = **1,4 m/detik**
- (memenuhi)
- Jenis pipa = **Pipa PVC**





Gambar 5.13 Kurva Performa Pompa Penambahan Debit dan Pompa Grundfos NS Basic 3-40

Perhitungan kecepatan aliran dalam pompa menggunakan perhitungan saluran tertutup. Hal ini dikarenakan kondisi drainase yang selalu tergenang air dan pipa berada didasar drainase, sehingga didalam pipa selalu tertutup penuh dengan air. Berikut ini merupakan perhitungan HRT dan HLR yang baru setelah dilakukan penambahan debit

$$\begin{aligned}
 Q \text{ rata-rata} &= 0,00051 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 Q \text{ tambahan} &= 0,0007 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 Q \text{ total} &= Q \text{ rata-rata} + Q \text{ tambahan} \\
 &= 0,00051 \text{ m}^3/\text{detik} + 0,0007 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 0,0012 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 103,3 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{HRT cek} &= \frac{\text{Volume}}{Q \text{ rata-rata}} \\
 &= \frac{7,56 \text{ m}^3}{0,0012 \text{ m}^3/\text{detik}} \\
 &= 6300 \text{ detik} \\
 &= \mathbf{1,75 \text{ jam}} \\
 &= (\text{Memenuhi}) \\
 \text{HLR cek} &= \frac{Q \text{ total}}{A \text{ surface}} \\
 &= \frac{0,0012 \text{ m}^3/\text{detik}}{(3,3 \text{ m} \times 1,7 \text{ m})} \\
 &= 2,1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{detik}
 \end{aligned}$$

$$= 18,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$= (\text{Memenuhi})$$

Bak pengendap memiliki zona lumpur yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur. Zona lumpur terdapat pada bagian bawah bak. Berikut ini merupakan perhitungan dimensi zona lumpur yang terdapat pada bak dengan Tabel 5.20 menunjukkan konstanta yang digunakan pada perhitungan dimensi zona lumpur.

Tabel 5.20 Konstanta Perhitungan Debit Lumpur

Parameter	Kriteria Desain*
Kadar solid dalam lumpur	3%
Kadar air dalam lumpur	97%
Sg solid	1400 kg/m ³

* Tchobanoglous *et al.*, 2002

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD removal} &= 1,31 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa COD removal} &= 2,28 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa TSS removal} &= 9,11 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa NH}_3\text{-N bebas removal} &= 0,16 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa PO}_4^{3-} \text{ removal} &= 0,12 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa lumpur total} &= 12,98 \text{ kg/hari} \\ \text{Densitas lumpur} &= \text{Densitas solid} \times 3\% \\ &= 1400 \text{ kg/m}^3 \times 3\% \\ &= 42 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Q lumpur} &= \frac{\text{massa solid}}{\text{densitas lumpur}} \\ &= \frac{12,98 \text{ kg/hari}}{42 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0,31 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Proses pengendapan pada kompartemen 2 dan 3 menyebabkan terjadinya penimbunan lumpur. *Hydraulic retention time* (HRT) yang melebihi kriteria desain juga menyebabkan penurunan efisiensi bak untuk menampung material yang akan diendapkan. Sifat lumpur yang toksik menyebabkan perlunya pengolahan khusus agar tidak diperlukan pengurasan lumpur oleh jasa pengurasan lumpur. Rekomendasi yang diberikan berupa

pemberian pompa lumpur untuk menguras lumpur yang terbentuk agar proses pengendapan dapat optimal. Lumpur dikuras dengan menggunakan pompa lumpur dan selanjutnya dialirkan menuju *filter press*.

$$\begin{aligned}
 \text{Debit lumpur} &= 0,31 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Volume zona lumpur} &= \text{Debit lumpur} \times \text{frekuensi pengurasan} \\
 &= 0,31 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 0,31 \text{ m}^3 \\
 &= 310 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Pemilihan frekuensi pengurasan selama 1 hari sekali. Hal ini untuk memudahkan *maintenance* dalam pengurasan lumpur. Pengurasan lumpur secara rutin dapat menjaga efisiensi pengolahan. Perhitungan selanjutnya adalah perhitungan pompa lumpur. Berikut ini merupakan perhitungan pompa dan dimensi pipa lumpur dengan kurva performa pompa yang digunakan disajikan pada Gambar 5.14

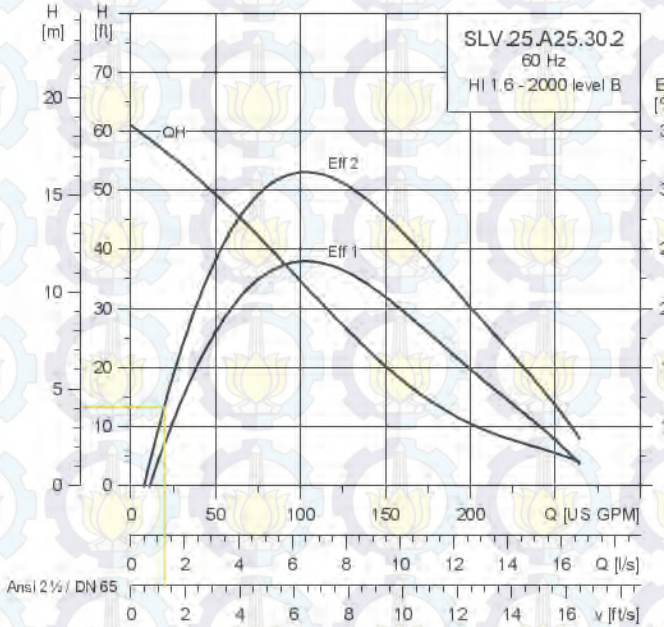
$$\begin{aligned}
 \text{Merk} &= \textbf{Grundfos SLV.25.A25.30} \\
 \text{Jenis pompa} &= \textit{Sludge Submersible Pump} \\
 \text{Daya} &= 2900 \text{ Watt} \\
 \text{Head Pompa} &= 4,0 \text{ m} \\
 \text{(berdasarkan pengukuran)} & \\
 \text{Q pompa} &= 1,4 \text{ L/detik} \\
 &= 0,0014 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 0,084 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 \text{\textcircled{Ø} Discharge} &= 2 \frac{1}{2}'' \\
 &= 0,06 \text{ m} \\
 \text{v pipa} &= \frac{Q}{\pi r^2} \\
 &= \frac{0,0014 \text{ m}^3/\text{detik}}{\pi 0,03^2} \\
 &= \textbf{0,5 m/detik} \\
 \text{Waktu pengurasan} &= \frac{\textit{Volume lumpur}}{Q \textit{ pompa}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,31 \text{ m}^3}{0,084 \text{ m}^3/\text{menit}}$$

$$= 0,37 \text{ menit}$$

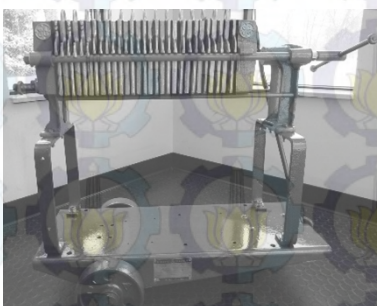
$$= \text{Pipa PVC}$$

Jenis pipa



Gambar 5.14 Kurva Performa Pompa Penguras Lumpur Bak Netralisasi dan Pompa Grundfos SLV.25.A25.30

Lumpur yang dikuras dari bak netralisasi diolah dengan proses *dewatering*. Proses *dewatering* merupakan proses fisik untuk memisahkan padatan dengan air yang terkandung dalam lumpur. Hasil dari proses *dewatering* adalah padatan yang disebut 'cake' dan filtrat (Tchobanoglous *et al.*, 2002). Proses *dewatering* menggunakan alat *Filter Press* dengan jenis *Plate and Frame Filter Press*. *Filter Press* yang digunakan adalah **General Electric $\frac{1}{2}$ ft² Manual Mini Filter Press**. Menurut Tchobanoglous *et al.*, (2002) filter press merupakan salah satu jenis pengolahan lumpur dengan menggunakan prinsip *dewatering*. Tekanan yang diberikan saat proses *pressing* sebesar 700 kPa dengan waktu sekitar 1 – 3 jam. Gambar 5.15 menunjukkan jenis *Filter Press* yang digunakan. Berikut ini merupakan spesifikasi dari *Filter Press* yang digunakan



Gambar 5.15 Filter Press

Merk	=	General Electric $\frac{1}{2}$ ft² Manual Mini Filter Press
Luas Permukaan Total Plate	=	0,5 ft ²
	=	0,014 m ²
Dimensi	=	0,96 m x 0,25 m x 0,61 m
Jumlah Plate	=	29
Ukuran Plate	=	175 mm

Pada saat dilakukan proses *dewatering*, filtrat yang terbentuk dialirkan kembali menuju bak netralisasi dengan

menggunakan pipa. Kemudian dipompa kembali menuju bak netralisasi. Tabel 5.21 dibawah menunjukkan rekomendasi dan keterangan dari *review* desain berdasarkan kriteria desain bak netralisasi kompartemen 2 dan 3.

Tabel 5.21 *Review* Desain Bak Netralisasi Kompartemen 2 dan 3

Parameter	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain	Keterangan	Rekomendasi
HRT	4 jam	1,5 – 2,5 jam	HRT melebihi kriteria karena debit yang terolah kecil	Penambahan debit dari air bekas wudu dan <i>greywater</i> masjid
HLR	6,8 m ³ /m ² .hari	16 – 24 m ³ /m ² .hari	HLR dibawah kriteria karena HRT yang lama	sebesar 0,0006 m ³ /detik pada Inlet bak netralisasi.
NRe	145,57	< 2000	-	-
NFr	1,38 x 10 ⁻⁸	< 10 ⁻⁵	-	-
Vh	1,14 x 10 ⁻⁴ m/detik	Vh < VSc	-	-
VSc	0,068 m/detik		-	-

5.4.2 *Review* Desain Unit RBC

Unit pengolahan biologis memiliki beberapa kriteria desain yang dipengaruhi oleh kondisi hidraulik air dan kebutuhan nutrisi dari mikroorganisme yang dimanfaatkan (Tchobanoglous *et al*, 2002). Terdapat beberapa kriteria desain yang mempengaruhi kinerja dari unit pengolahan biologis khususnya RBC, yakni kebutuhan nutrisi mikroorganisme, faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dan metabolisme mikroorganisme itu sendiri. Perhitungan kriteria ketebalan *biofilm* diukur langsung pada unit RBC dan pengukuran DO level melalui analisis laboratorium. Kriteria desain yang digunakan pada unit

RBC dirangkum dari berbagai literatur. Jenis kriteria desain yang digunakan adalah unit RBC dengan proses nitrifikasi. Kriteria desain ini dipilih karena terjadi proses nitrifikasi berdasarkan hasil evaluasi kinerja. Tabel 5.22 dibawah ini menunjukkan kriteria desain yang digunakan dalam unit RBC.

Tabel 5.22 Kriteria Desain Unit RBC

Parameter	Kriteria Desain
Kecepatan rotasi*	1-10 rpm
Media RBC*	<i>Styrofoam, Polycarbonate Sheet, HDPE</i>
Ketebalan <i>Biofilm</i> *	0,5-4,5 mm
Suhu*	> 13°C
Transfer Oksigen*	1 – 2 kg/kWh
% Celupan Media*	> 40%
Rasio BOD/COD*	> 0,5
Rasio BOD:N:P*	100:5:1
<i>G Value</i> (L/m ²)**	5 - 9
BOD Surface Rate***	8 – 20 g BOD/m ² .hari
DO Level**	minimal 2 mg DO/L pada stage pertama
Ketebalan <i>biofilm</i> **	0,5 – 4 mm
HLR (m ³ /m ² .hari)***	0,03 – 0,081
HRT (jam)***	1,5 – 4

* Cortez, *et al.*, 2008

** Said, 2005

*** Lin, 1999

- Rasio BOD/COD pada influen RBC

Rasio BOD/COD merupakan rasio perbandingan antara konsentrasi polutan BOD (polutan organik yang dapat diurai oleh mikroorganisme) dan COD (polutan organik yang dioksidasi oleh oksidator kuat). Rasio perbandingan BOD/COD adalah diatas 0,5 untuk unit pengolahan sekunder yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai pengurai polutan organik. Apabila rasio BOD/COD kurang dari 0,5 maka polutan organik yang ada pada air limbah tidak dapat diurai oleh mikroorganisme atau air limbah dikatakan toksik terhadap mikroorganisme. Tabel 5.23 berikut

merupakan perhitungan rasio BOD/COD pada titik influen unit RBC.

Tabel 5.23 Perhitungan Rasio BOD/COD

Pengukuran Ke-	Konsentrasi (mg/L)		Rasio
	Inf BOD	Inf COD	
I	104,9	220	0,52
II	71,2	360	0,19
III	211,5	260	0,81
IV	186,8	200	0,93
V	100,3	260	0,38
VI	82,1	260	0,31

Konsentrasi BOD Influen RBC rata-rata = 126,1 mg/L

Konsentrasi COD Influen RBC rata-rata = 260 mg/L

$$\text{Rasio } \frac{BOD}{COD} = \frac{128,2 \text{ mg/L}}{260 \text{ mg/L}} = 0,49$$

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa terdapat tiga (3) hari pengukuran yaitu, pada pengukuran ke- I, II dan VI yang memiliki nilai BOD/COD dibawah 0,5. Pengukuran rasio BOD/COD pada konsentrasi rata-rata menunjukkan bahwa rasio BOD/COD sebesar 0,49. Rasio ini menunjukkan kurangnya konsentrasi organik BOD sebagai makanan organisme. Konsentrasi COD yang tinggi dapat berasal dari limbah laboratorium. Limbah laboratorium memiliki konsentrasi COD, tetapi memiliki konsentrasi BOD yang rendah (Suprihatin dan Indrasti, N. S. 2010). Masih tingginya konsentrasi COD yang belum terendap juga dapat diakibatkan dari kurang berfungsinya proses pengendapan pertama (Cortez *et al.* 2008).

- Rasio BOD:N:P

Rasio BOD:N:P merupakan rasio perbandingan nutrisi yang diperlukan oleh mikroorganisme agar proses pengolahan air limbah berjalan maksimal. Konsentrasi BOD merupakan sumber utama nutrisi sedangkan N dan P dibutuhkan untuk proses pertumbuhan mikroorganisme dan akseptor elektron dalam reaksi

biokimia. Idealnya, rasio yang dibutuhkan adalah 100:5:1. Tabel 5.24 berikut merupakan perhitungan rasio BOD:N:P dari konsentrasi rata-rata polutan titik influen RBC

Tabel 5.24 Perhitungan Rasio BOD:N:P

Pengukuran Ke-	Konsentrasi (mg/L)			Rasio		
	BOD	N	P	BOD	N	P
I	104,9	4,5	13,3	116,5	5	14,7
II	71,2	8,5	8,6	41,3	5	5
III	211,5	6,3	12,6	167,9	5	10
IV	186,8	4,7	12,3	198,7	5	13,1
V	100,3	1,2	8,3	418,2	5	34,6
VI	82,1	1,2	7,8	342,4	5	32,5

Konsentrasi BOD Influen RBC rata-rata = 126,1 mg/L

Konsentrasi NH₃-N bebas Influen RBC rata-rata = 4,4 mg/L

Konsentrasi PO₄³⁻ Influen RBC rata-rata = 10,5 mg/L

Rasio BOD:N:P = 126,1 : 4,4 : 10,5

= 143,2 : 5 : 11,9

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui perhitungan rasio dengan mengambil titik perbandingan pada konsentrasi N (perhitungan rasio BOD dan P mengikuti N). Rasio BOD:N:P telah memenuhi persyaratan karena konsentrasi BOD dan P telah diatas komposisi minimal. Rasio ini mengikuti konsentrasi N yang ada pada air limbah sudah tinggi. Tingginya konsentrasi N berasal dari feses atau kotoran manusia (Lin, 1999). Unit IPAL-Toksik mengolah langsung kotoran manusia karena tidak adanya tangki septik.

- *G Value*

Nilai G atau *G Value* merupakan suatu nilai yang menunjukkan kepadatan media tempat *biofilm* melekat, yang dihitung sebagai perbandingan volume efektif RBC dengan luas permukaan media (Said, 2005). Berikut ini merupakan perhitungan *G Value*.

Volume efektif RBC = 5,03 m³

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan media} &= 610 \text{ m}^2 \\
 &= \frac{\text{Volume}}{A_s} \times 1000 \\
 \text{G Value} &= \frac{5,03 \text{ m}^3}{610 \text{ m}^2} \times 1000 \\
 &= 8,24 \text{ L/m}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, diketahui bahwa *G Value* unit RBC masih berada pada rentang kriteria desain.

- *BOD Surface Loading*

Perhitungan *BOD surface loading* menunjukkan beban BOD yang diolah pada unit RBC. Semakin tinggi konsentrasi BOD influen RBC yang diolah, maka semakin tinggi beban BOD yang diolah. Namun, semakin tinggi beban BOD yang diolah maka semakin rendah efisiensi *removal* BOD. Rendahnya nilai *BOD surface loading* mempengaruhi proses nitrifikasi (Tchobanoglous *et al.*, 2002). Selain itu, tingginya nilai *surface loading* dan rendahnya nilai HRT akan menyebabkan rendahnya kemampuan RBC untuk menurunkan kandungan BOD influen (Oliveira and von Sperling, 2011). Tabel 5.25 dibawah ini merupakan perhitungan *BOD surface loading*.

Tabel 5.25 Perhitungan *BOD Surface loading*

Pengukuran Ke-	BOD (mg/L)	Debit (m ³ /hari)	Luas Permukaan Media (m ²)	OLR (g BOD/m ² .hari)
(1)	(2)	(3)	(4)	$\frac{(3)}{(2)} \times (4)$
I	104,9	13,14	610	2,48
II	71,2	74,14	610	8,69
III	211,5	68,39	610	23,71
IV	186,8	67,72	610	20,74
V	100,3	26,18	610	4,41
VI	82,1	52,36	610	7,05

Konsentrasi BOD Influen RBC rata-rata = 126,1 mg/L

Q rata-rata = 43,78 m³/hari

Luas permukaan media = 610 m^2

$$\begin{aligned} \text{BOD Surface Loading} &= \frac{Q \times \text{BOD}}{A_s} \\ &= \frac{43,78 \text{ m}^3/\text{hari} \times 126,1 \text{ mg/L}}{610 \text{ m}^2} = 9,05 \end{aligned}$$

- *Hydraulic Loading Rate (HLR)*

Kriteria HLR mempengaruhi kinerja RBC dalam menghilangkan polutan dalam air limbah. Peningkatan debit dapat menurunkan HRT air limbah yang diolah (Cortez *et al.*, 2008). Perhitungan HLR diketahui berdasarkan perbandingan debit yang diolah dengan luas permukaan media semua stage. Di bawah ini merupakan perhitungan HLR berdasarkan debit rata-rata

Q rata-rata = $43,78 \text{ m}^3/\text{hari}$

A_s media = 610 m^2

$$\text{HLR} = \frac{Q}{A_s} = \frac{43,78 \text{ m}^3/\text{hari}}{610 \text{ m}^2} = 0,072 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hari}$$

- *Hydraulic Retention Time (HRT)*

Kriteria HRT menunjukkan waktu kontak antara *biofilm* pada media dan air limbah. Semakin lama waktu kontak maka kemampuan *biofilm* untuk menyerap nutrisi yang ada pada air limbah semakin meningkat (Cortez *et al.*, 2008). Selain itu, HRT juga mempengaruhi ketebalan *biofilm* yang ada pada media (Najafpour, *et al.*, 2006) Berikut ini merupakan perhitungan HRT berdasarkan debit rata-rata.

Q rata-rata = $43,78 \text{ m}^3/\text{hari}$

Volume Bak = $5,03 \text{ m}^3$

$$\text{HRT} = \frac{\text{Volume}}{Q} = \frac{5,03 \text{ m}^3}{43,78 \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,114 \text{ hari}$$

HRT = $0,114 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} = 2,75 \text{ jam}$

- Jenis Media

Jenis media yang digunakan unit RBC adalah *High Density Polyethylene* (HDPE). Jenis media ini merupakan media yang paling umum digunakan sebagai media unit RBC karena memiliki kelebihan, yakni bersifat inhibitor terhadap sinar UV (Rodgers and Zhan, 2003) dan tahan terhadap korosi dan kerusakan akibat bahan kimia (Turner, 2007). Menurut Patwardhan (2003), jenis media ini memiliki kerapatan media yang tinggi, sehingga mencegah rusaknya *biofilm*. Berdasarkan celupannya dengan air, *disk* pada RBC dibagi menjadi dua (2) bagian yakni bagian yang tercelup (*submerged*) dan yang teraerasi (*aerated*) dimana kedua bagian ini terjadi akibat pergerakan putaran dari *disk*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Said (2005) terdapat persamaan yang menunjukkan hubungan antara luas permukaan media yang dibutuhkan dengan efisiensi pengolahan yang diharapkan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$A = \frac{f(A/A_w)}{\left\{ \frac{0,01673 \eta^{1,4}}{(1 - \eta)^{1,4}} \right\} x (1 - 1,24x10^{-0,1114t}) x f(T)}$$

Dimana:

$f(A/A_w)$: Perbandingan luas total permukaan media dengan luas media RBC yang tercelup

A : Luas permukaan media RBC (m²)

A_w : Luas permukaan media RBC yang tercelup (m²)

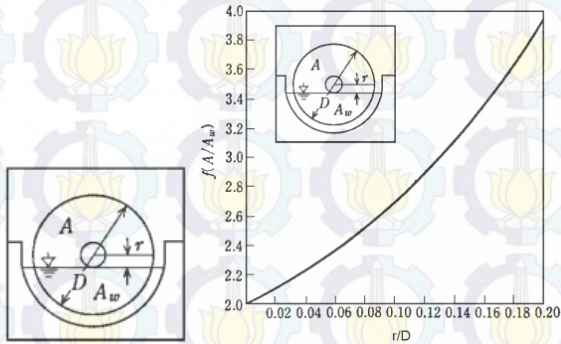
η : Efisiensi pengolahan (<1)

t : HRT (jam)

$f(T)$: Korelasi suhu (0,37 untuk 25°C)

Nilai $f(A/A_w)$ diketahui berdasarkan perbandingan antara tinggi media yang tidak tercelup dengan diameter (r/D), seperti yang terdapat pada gambar 5.16 dibawah ini. Kemudian dari nilai r/D didapatkan besar $f(A/A_w)$ dari grafik dibawah ini

r	=	13,5 cm
D	=	180 cm
r/D	=	0,072
f(A/A _w)	=	2,4
HRT	=	2,75 jam
f(T)	=	0,37



Gambar 5.16 Penentuan Nilai r/D dan Grafik Penentuan f(A/A_w) (Said, 2005)

Sebelumnya telah diketahui bahwa luas permukaan media RBC sebesar 610 m². Oleh karena itu, perlu diketahui besar efisiensi pengolahan yang dihasilkan. Berikut ini perhitungannya

$$t = 2,75 \text{ jam}$$

$$(1 - 1,24 \times 10^{-0,1114t}) = 0,3875$$

$$A = \frac{f(A/A_w)}{\left\{ \frac{0,01673 \eta^{1,4}}{(1 - \eta)^{1,4}} \right\} x (1 - 1,24 \times 10^{-0,1114t}) x f(T)}$$

$$610 \text{ m}^2 = \frac{2,4}{\left\{ \frac{0,01673 \eta^{1,4}}{(1 - \eta)^{1,4}} \right\} x 0,3875 x 0,37}$$

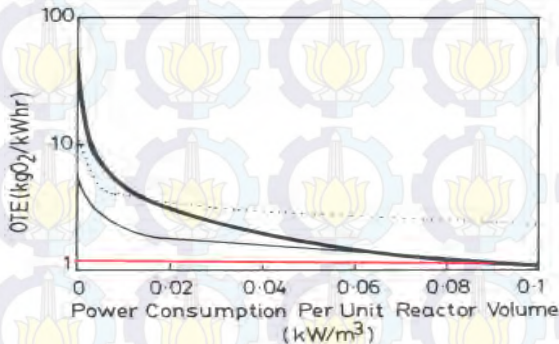
$$\left\{ \frac{0,01673 \eta^{1,4}}{(1 - \eta)^{1,4}} \right\} = \frac{2,4}{610 \text{ m}^2 \times 0,3875 \times 0,37}$$

$$\left\{ \frac{0,01673 \eta^{1,4}}{(1 - \eta)^{1,4}} \right\} = 0,027$$

$\eta = 0,806$ atau 80,6%

- Kemampuan Transfer Oksigen dan Kecepatan Rotasi

Berdasarkan Cortez, *et al.* (2008) kemampuan RBC untuk mentransfer oksigen dipengaruhi oleh kecepatan rotasi, dimana secara tipikal berada pada rentang 1 -2 kg/kWh. Kecepatan rotasi unit RBC dilakukan manual dengan menghitung jumlah rotasi yang dilakukan tiap menit, yakni sekitar 2 rpm. Kemampuan transfer oksigen sebesar 1,5 kg/kWh (Enviro Waste & Water Treatment, 2007) dan sesuai dengan grafik pada Patwardhan (2003). Menurut penelitian lanjutan Patwardhan (2003), suplai gas dengan menggunakan kompresor tidak diperlukan karena telah dicukupkan dengan rotasi RBC itu sendiri. Gambar 5.17 menunjukkan hubungan antara kemampuan transfer oksigen dengan energi listrik yang dibutuhkan.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan Kemampuan Transfer Oksigen dengan Kebutuhan Energi Listrik (Patwardhan., 2003)

Performa unit RBC dipengaruhi oleh dua (2) parameter lain, yakni tinggi *disk* yang tercelup dan kecepatan rotasi *disk* atau *disk rotational speed* (ω). Gambar 5.18 menunjukkan gambar penampang dari sebuah *disk*. Menurut Grady *et al.* (1980) hubungan antara diameter dan kecepatan rotasi *disk* terdapat pada persamaan untuk mencari K_{La} atau koefisien *mass transfer* eksternal. Koefisien *mass transfer* eksternal merupakan fungsi dari kecepatan rotasi *disk* akibat dari pergerakan *disk* itu sendiri. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan:

$$K_{LA} = 1,55 D_w^{0,667} \left(\frac{\mu_w}{\rho_w} \right)^{0,167} \left(\frac{\omega}{r} \right)^{0,5}$$

dengan:

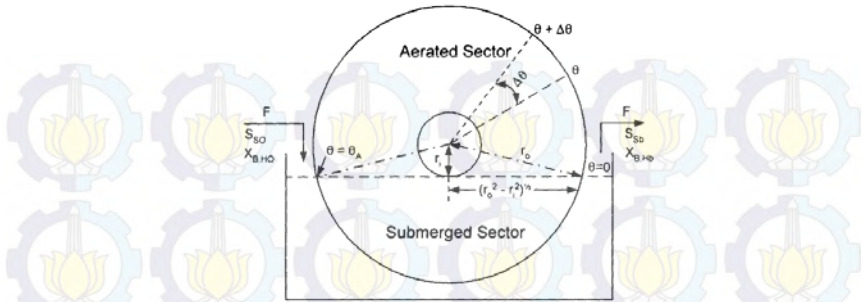
- K_{La} : Koefisien mass transfer eksternal (cm/detik)
- D_w : Difusivitas polutan yang diolah dalam air (0,02 cm²/jam)
- μ_w : Viskositas air (0,893 x 10⁻⁵ gram/cm-det pada 25°C)
- ρ_w : Densitas air (0,997 gram/cm³ pada 25°C)
- ω : Kecepatan rotasi *disk* (2 rpm)
- r : Jari-jari *disk* (90 cm)

Berikut ini perhitungan K_{La} :

$$K_{LA} = 1,55 0,02^{0,667} \left(\frac{0,893 \times 10^{-5}}{0,997} \right)^{0,167} \left(\frac{2 \text{ rpm}}{90 \text{ cm}} \right)^{0,5}$$

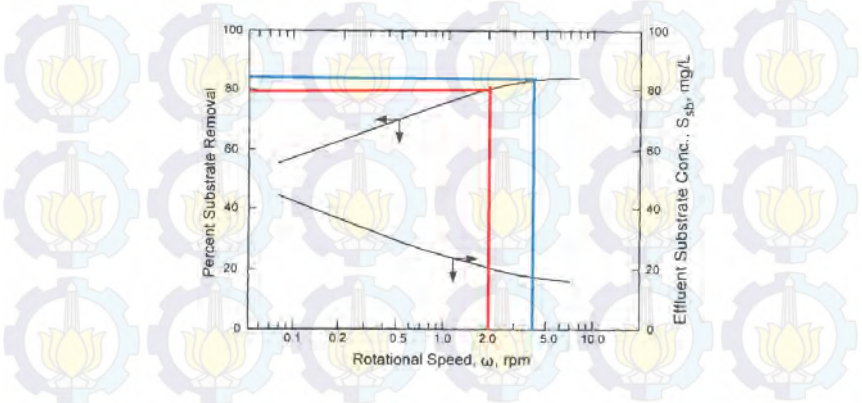
$$K_{LA} = 0,1863 \left(\frac{2 \text{ rpm}}{90 \text{ cm}} \right)^{0,5}$$

$$K_{LA} = 0,027 \text{ cm/detik}$$



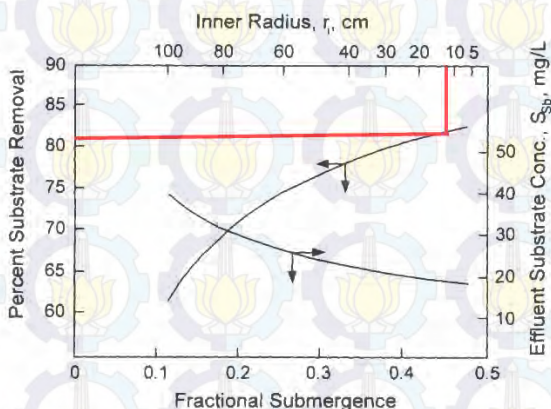
Gambar 5.18 Gambar Penampang *Disk* (Grady *et al.*, 1980)

Semakin cepat putaran *disk* maka persentase *removal* COD semakin meningkat (Grady *et al.*, 1980). Selanjutnya, peningkatan kecepatan rotasi *disk* menyebabkan ketebalan *biofilm* semakin meningkat. Akan tetapi, kecepatan yang sangat tinggi menyebabkan *biofilm* yang terbentuk akan langsung terkelupas, sehingga membentuk endapan. *Biofilm* yang terkelupas menyebabkan nilai K_{LA} turun. Penurunan nilai K_{LA} menyebabkan efektivitas penyisihan polutan menurun. Gambar 5.19 menunjukkan hubungan antara persentase *removal* COD dengan kecepatan rotasi *disk*.



Gambar 5.19 Grafik Hubungan Kecepatan Putaran dengan Persentase *Removal* COD (Grady *et al.*, 1980)

Berdasarkan grafik diatas diketahui secara teoritis bahwa unit RBC mampu menyisihkan polutan sebanyak 80%. Namun, pada kondisi eksisting masih belum mampu menyisihkan hingga 80%. Oleh karena itu perlu adanya peningkatan kecepatan rotasi agar proses *removal* berjalan maksimal. Kecepatan rotasi yang dipilih adalah 4 rpm. Kecepatan rotasi ini dipilih karena mampu menyisihkan polutan dalam kondisi maksimal. Kecepatan rotasi yang dipilih tidak lebih kecil daripada 2 rpm agar proses penyisihan polutan dapat berjalan maksimal walaupun terjadi proses *sloughing* (Grady *et al.*, 1980). Kecepatan rotasi 4 rpm tidak terlalu tinggi, namun mampu menyisihkan polutan dengan persentase maksimal. Unit RBC memiliki kedalaman Inner Radius (r_i) sebesar 13,5 cm. Apabila r_i tersebut diplotkan pada grafik hubungan antara celupan *disk* dengan persentase *removal* COD (Gambar 5.20) maka diketahui bahwa persentase *removal* sebesar 80%



Gambar 5.20 Grafik Hubungan Inner Radius dengan Persentase *Removal* COD (Grady *et al.*, 1980)

- Ketebalan *Biofilm*

Ketebalan *biofilm* diukur secara manual secara hati-hati dengan menggunakan penggaris. Berdasarkan pengamatan

langsung diketahui bahwa ketebalan *biofilm* berada pada ambang batas minimum dan media RBC telah berubah warna. Saat sebelum pemasangan, media RBC berwarna putih. Namun, seiring proses pengolahan dilakukan warna media berubah menjadi kuning kecoklatan dimana warna ini menunjukkan bahwa terjadi proses nitrifikasi pada RBC (PSATS, 2014). Mikroorganisme yang hidup terlekat berasal dari jenis *Beggiatoa* (Demetrios, 2003). Tipisnya lapisan *biofilm* pada media diakibatkan terbentuknya lumpur didasar *disk*. *Disk* yang tercelup pada lumpur menyebabkan sulitnya pembentukan *biofilm* (Cortez, *et al.*, 2008). Selanjutnya, pembentukan *biofilm* dipengaruhi oleh kemampuan mikroorganisme untuk membentuk massa sel dan gerakan hidrodinamika air yang dapat ditahan oleh lapisan *biofilm* itu sendiri (Patwardhan, 2003).

Secara desain, unit RBC telah memenuhi kriteria desain. Hal ini dikarenakan unit RBC merupakan unit produksi pabrian, sehingga kondisi fisik dan desain RBC dibuat seragam dan tipikal. Proses pengolahan biologis pada unit RBC telah berjalan, namun masih memiliki kelemahan berupa masih tipisnya lapisan *biofilm* yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan rasio BOD/COD yang hampir dikatakan toksik. Selain itu, terdapat hari dimana rasio BOD/COD jauh dibawah $< 0,5$. Rendahnya kandungan BOD maupun COD pada proses pengolahan dengan menggunakan RBC menyebabkan *biofilm* tidak tebal (Ebrahimi, *et al.*, 2009) Apabila nutrisi tidak seimbang, maka mengakibatkan konsentrasi air limbah yang ada menjadi toksik terhadap mikroorganisme (Benefield and Randall., 1980).

Pengaruh suhu dan nilai pH sangat mendukung proses pengolahan biologis karena suhu berada pada kondisi mesofilik (25°) dan pH berada pada rentang 6,5 – 7,5. Suhu yang optimum mendukung pertumbuhan mikroorganisme dan pH yang berada pada rentang netral mendukung sistem metabolisme mikroorganisme (Tchobanoglous *et al.*, 2002). Lumpur yang dihasilkan oleh unit RBC berkisar 10% - 20% lebih rendah daripada unit pengolahan biologis dengan menggunakan *activated sludge* (Williams, 2011). Tabel 5.26 dibawah ini menunjukkan hasil *review* desain dari unit RBC.

Tabel 5.26 *Review* Desain Unit RBC

Parameter	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain	Keterangan	Rekomendasi
Kecepatan rotasi*	2 rpm	1-10 rpm	Diantara rentang kriteria desain	Menaikkan kecepatan menjadi 4 rpm
Media RBC*	HDPE	Styrofoam Polycarbonate Sheet, HDPE	-	-
Ketebalan Biofilm*	0,5 mm	0,5-4,5 mm	-	-
Suhu*	25°C	> 13°C	-	-
Transfer Oksigen*	1,5 kg/kWh	1 – 2 kg/kWh	-	-
% Celupan Media*	50%	> 40%	-	-
Rasio BOD/COD	0,49	> 0,5	-	-
Rasio BOD:N:P	143:5:11	100:5:1	-	-
G Value	8,24	5 – 9 L/m ²	-	-
BOD Surface Rate	11,17 g BOD/m ² .hari	8 – 20 g BOD/m ² .hari	-	-
DO Level	5,4	min 2 mg DO/L	-	-
Ketebalan biofilm	0,5	0,5 – 4 mm	-	-
HLR	0,072 m ³ /m ² .hari	0,03 – 0,081 m ³ /m ² .hari	-	-
HRT	2,75 jam	1,5 – 4 jam	-	-

5.4.3 *Review* Desain Bak Pengendap

Sama halnya dengan kompartemen 2 dan 3 pada bak netralisasi, *review* desain bak pengendap mengacu pada kriteria

desain unit bak pengendap 2 pada proses pengolahan air limbah pada umumnya. Kompartemen 1 pada bak pengendap berfungsi untuk proses pengendapan, sedangkan kompartemen 2 berfungsi untuk menampung efluen yang lolos yang dilanjutkan dengan proses klorinasi. Partikel yang diendapkan pada kompartemen 1 berupa partikel yang lolos proses pengolahan biologis. Tabel 5.27 berikut merupakan kriteria desain bak pengendap.

Tabel 5.27 Kriteria Desain Bak Pengendap

Parameter	Kriteria Desain*
HRT	1,5 – 2,5 jam
HLR	16 – 24 m ³ /m ² .hari
NRe	< 2000
NFr	< 10 ⁻⁵
β (material organik)	0,06
Ø (material organik)	0,2 mm
Faktor friksi darcy-weisbach	0,03
<i>Specific gravity</i> (Sg)	1,15
Viskositas Kinematis (25°C)	0,893 x 10 ⁻⁶ m ² /detik

* Lin (1999)

Berikut ini merupakan perhitungan dari masing-masing kriteria desain.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 2,8 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 1,8 \text{ m} \\
 \text{Volume} &= P \times l \times t \\
 &= 2 \text{ m} \times 2,8 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \\
 &= 10,08 \text{ m}^3 \\
 \text{Q rata-rata} &= 43,78 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,0005 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{HRT} &= \frac{\text{Volume}}{Q \text{ rata-rata}} \\
 &= \frac{10,08 \text{ m}^3}{0,00051 \text{ m}^3/\text{detik}} \\
 &= 19.764 \text{ detik} \\
 &= \mathbf{5,5 \text{ jam}}
 \end{aligned}$$

$$\text{HLR} = \frac{Q}{A \text{ surface}} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

$$= \frac{0,00051 \text{ m}^3/\text{detik}}{(2 \text{ m} \times 2,8 \text{ m})}$$

$$= 9 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{detik}$$

$$= \mathbf{7,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}}$$

$$\text{Kecepatan horizontal (Vh)} = \frac{Q}{L \times T} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

$$= \frac{43,78 \text{ m}^3/\text{detik}}{2 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}}$$

$$= 12,16 \text{ m/hari}$$

$$= 1,4 \times 10^{-4} \text{ m/detik}$$

$$\text{Kecepatan scouring (Vsc)} = \left(\frac{8\beta (Sg - 1) dg}{f} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{8 \times 0,06 (1,15 - 1) 981 \times 0,02}{0,03} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 6,8 \text{ cm/detik}$$

$$= 0,068 \text{ m/detik}$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{hb}{(2h + b)}$$

$$= \frac{1,8 \times 2}{(2 \times 1,8 + 2)}$$

$$= 0,64 \text{ m}$$

$$\text{NRe} = \frac{Vh \times R}{\nu}$$

$$= \frac{0,0001 \text{ m/detik} \times 0,64 \text{ m}}{0,893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}}$$

$$= 70$$

$$\text{NFr} = \frac{Vh^2}{g \times R}$$

$$= \frac{0,0001 \text{ m/detik}^2}{9,81 \times 0,64 \text{ m}}$$

$$= 1,6 \times 10^{-9}$$

Berdasarkan *review* desain diatas didapatkan hasil bahwa kriteria desain yang tidak terpenuhi adalah HRT dan HLR. Kriteria desain tersebut merupakan kriteria desain yang sama seperti halnya pada bak netralisasi kompartemen 2 dan 3. Kriteria HLR tidak memenuhi dikarenakan beban permukaan yang kecil. Beban permukaan yang kecil membutuhkan luas permukaan yang luas agar efisiensi pengendapan makin tinggi (Tchobanoglous *et al.*, 2002). Berikut ini merupakan perhitungan HRT dan HLR yang baru pada bak pengendap dengan menggunakan Q baru, yakni 103,3 m³/hari. Q baru tersebut berasal dari Q rata-rata ditambah dengan Q penambahan dari air bekas wudu dan efluen *greywater* masjid pada perhitungan *review* desain bak netralisasi.

$$\begin{aligned}
 Q \text{ baru} &= 103,3 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,0012 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 A \text{ surface} &= P \times l \\
 &= 2 \text{ m} \times 2,8 \text{ m} \\
 &= 5,6 \text{ m}^2 \\
 \text{HLR baru} &= \frac{Q \text{ rata - rata}}{A \text{ surface}} \\
 &= \frac{0,0012 \text{ m}^3/\text{detik}}{(2 \text{ m} \times 2,8 \text{ m})} \\
 &= 0,0003 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{detik} \\
 &= \mathbf{18,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}} \\
 &= (\text{Memenuhi}) \\
 \text{HRT baru} &= \frac{\text{Volume}}{Q \text{ baru}} \\
 &= \frac{10,08 \text{ m}^3}{0,0012 \text{ m}^3/\text{detik}} \\
 &= 8.400 \text{ detik} \\
 &= \mathbf{2,33 \text{ jam}} \\
 &= (\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

Penambahan air pada bak pengendap tidak dilakukan karena penambahan air telah dilakukan pada bak netralisasi. Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan hasil bahwa Q baru mampu memenuhi kriteria desain HLR dan HRT pada bak

pengendap. Selanjutnya dilanjutkan dengan perhitungan zona lumpur. Berikut ini merupakan perhitungan dimensi zona lumpur yang terdapat pada bak dengan menggunakan konstanta yang sesuai dengan Tabel 5.20

Massa BOD terendapkan	=	0,48 kg/hari
Massa COD terendapkan	=	1,05 kg/hari
Massa TSS terendapkan	=	2,36 kg/hari
Massa NH ³ -N bebas terendapkan	=	0,06 kg/hari
Massa PO ₄ ³⁻ terendapkan	=	0,09 kg/hari
Massa solid total	=	4,04 kg/hari
Densitas lumpur	=	Densitas solid x 3%
	=	1450 kg/m ³ x 3%
	=	34,5 kg/m ³
Q lumpur	=	$\frac{\text{massa solid}}{\text{densitas lumpur}}$
	=	$\frac{4,04 \text{ kg/hari}}{34,5 \text{ kg/m}^3}$
	=	0,12 m ³ /hari
Volume zona lumpur	=	Q lumpur x frek.
	=	0,12 m ³ /hari x 1 hari
	=	0,12 m ³

Bak pengendap memerlukan pengurasan lumpur, sama halnya dengan bak netralisasi. Lumpur dikuras pada sehari sekali. Hal ini untuk memudahkan *maintenance* dalam pengurasan lumpur. Selain itu, pengurasan lumpur secara rutin dapat menjaga efisiensi bak pengendap dalam mengendapkan polutan. Jenis pompa yang digunakan sama seperti pompa penguras lumpur pada bak netralisasi. Namun, pompa tersebut tidak digunakan secara bergantian. Berikut ini merupakan perhitungan pompa dan dimensi pipa lumpur dengan Gambar 5.22 menunjukkan kurva performa pompa.

Merk	=	Grundfos SLV.25.A25.30
Jenis pompa	=	<i>Sludge Submersible Pump</i>
Daya	=	2900 Watt
Head Pompa	=	4,9 m

(berdasarkan pengukuran)

Q pompa

= 1,5 L/detik

= 0,0015 m³/detik

= 0,054 m³/menit

= 2 1/2"

= 0,06 m

= $\frac{Q}{\pi r^2}$

= $\frac{0,0015 \text{ m}^3/\text{detik}}{\pi \cdot 0,03^2}$

= **0,6 m/detik**

(memenuhi)

= $\frac{\text{Volume lumpur}}{Q \text{ pompa}}$

= $\frac{0,054 \text{ m}^3/\text{menit}}{0,12 \text{ m}^3}$

= 0,45 menit

= 2,2 menit

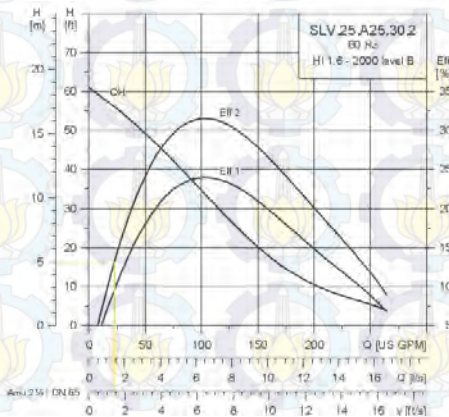
= Pipa PVC

Ø Discharge

v pipa

Waktu pengurasan

Jenis pipa



Gambar 5.21 Kurva Performa Pompa Penguras Lumpur Bak Pengendap

Proses dewatering menggunakan alat *Filter Press* dengan jenis *Plate and Frame Filter Press*. *Filter Press* yang digunakan

adalah **General Electric ½ ft² Manual Mini Filter Press**. Tabel 5.28 dibawah ini menunjukkan *review desain* dari bak pengendap.

Tabel 5.28 *Review Desain* Bak Pengendap

Parameter	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain	Keterangan	Rekomendasi
HRT	10,3 jam	1,5 – 2,5 jam	HRT terlalu tinggi karena debit yang terolah kecil	Penambahan debit dari air bekas wudu dan
HLR	4,7 m ³ /m ² .hari	16 – 24 m ³ /m ² .hari	HLR rendah karena HRT yang lama.	<i>greywater</i> masjid sebesar 0,0006 m ³ /detik pada Inlet bak netralisasi.
NRe	95	< 2000	-	-
NFr	1,2 x 10 ⁻⁹	< 10 ⁻⁵	-	-
Vh	1 x 10 ⁻⁴ m/detik	Vh < VSc	-	-
VSc	0,068 m/detik		-	-

5.4.4 *Review Desain* Unit Desinfeksi

Tahap akhir dari proses pengolahan air limbah adalah klorinasi. Klorinasi merupakan salah satu proses desinfeksi untuk membunuh mikroorganisme patogen yang berasal dari proses pengolahan. Proses ini adalah salah satu proses pengolahan tersier. Klorinasi membutuhkan bahan kimia untuk proses klorinasi, yakni larutan natrium hipoklorit. Pada IPAL-Toksik, proses klorinasi tidak membutuhkan suatu unit pengolahan khusus karena larutan natrium hipoklorit diinjeksikan langsung ke dalam pipa efluen sebelum dibuang ke badan air. Gambar 5.23 menunjukkan jenis pembubuhan klor pada unit desinfeksi.



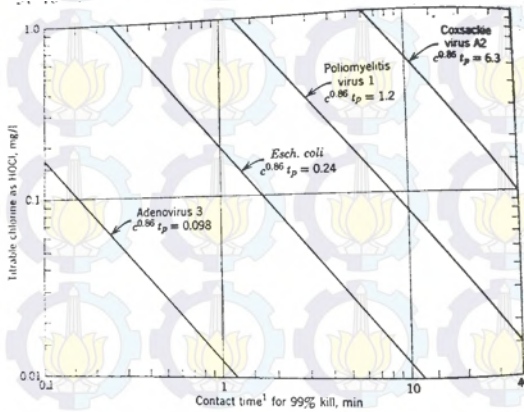
Gambar 5.22 Tipe Pipa Pembunuh Klor
(Qasim, 1985)

Kriteria desain dosis klor yang dibutuhkan berdasarkan grafik pada gambar 5.24. Selain itu, dibutuhkan juga klor bebas yang digunakan untuk membunuh 99% bakteri yang ada pada air limbah. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara waktu kontak dengan klor bebas. Berikut ini merupakan perhitungan volume tabung penampung larutan NaOCl yang ada pada IPAL-Toksik.

Ø tabung pelarut NaOCl	= 0,4 m
Tinggi tabung pelarut NaOCl	= 1 m
Volume tabung pelarut NaOCl	= $\pi r^2 t$
	= $\pi \times 0,2 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m}$
	= 0,126 m ³
	= 126 L
Q pengolahan	= 100 m ³ /hari
	= $1,16 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{detik}$
Ø pipa	= 2"
	= 5,1 cm
	= 0,051 m
A (Luas penampang pipa)	= $\frac{1}{4} \pi \text{ Ø}^2$
	= $\frac{1}{4} \pi \times 0,051^2$
	= 0,00204 m ²
v (Kecepatan aliran)	= $\frac{Q}{A}$
	= $\frac{0,00116 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,00204 \text{ m}^2}$
	= 0,57 m/detik
Panjang dari pipa injeksi menuju titik efluen IPAL	= 7,51 m

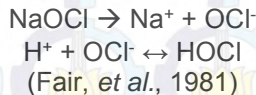
Waktu kontak

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Panjang}}{\text{Kecepatan aliran}} \\
 &= \frac{7,51 \text{ m}}{0,57 \text{ m/detik}} \\
 &= \mathbf{13 \text{ detik}}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.23 Grafik Hubungan Waktu Kontak dengan Konsentrasi HOCl untuk membunuh 99% *E. Coli* dan Virus (Fair, *et al.*, 1981)

Berdasarkan perhitungan diatas diketahui volume tabung penampung sebesar 126 L atau 0,126 m³. Namun pada saat pengisian hanya digunakan 100 L atau 0,1 m³ untuk memudahkan pengukuran. Perhitungan selanjutnya adalah menghitung kebutuhan klorin untuk proses desinfeksi. Pada saat NaOCl dibubuhkan kedalam air, terdapat beberapa senyawa yang dihasilkan akibat reaksi kimia, antara lain;



Asam hipoklorit atau HOCl dan ion hipoklorit atau OCl⁻ adalah senyawa dan ion kimia yang dihasilkan akibat reaksi NaOCl

dengan air. Kedua zat ini umum dikenal sebagai klorin bebas yang berfungsi sebagai oksidator. Terdapat jenis oksidator lain, yakni gas klor (Cl_2) yang memiliki kemampuan untuk mengoksidasi lebih tinggi daripada HOCl dan OCl⁻ (Fair, *et al.*, 1981). Berikut ini merupakan perhitungannya.

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu Kontak (tp)} &= 13 \text{ detik} \\
 &= 0,2 \text{ menit} \\
 \text{Jenis virus} &= \text{Coxsackie virus A2} \\
 \text{Persamaan} &= c^{0,86} tp = 6,3 \\
 \text{Konsentrasi klor yang} &= \sqrt[0,86]{\frac{6,3}{tp}} \\
 \text{dibutuhkan} &= \sqrt[0,86]{\frac{6,3}{0,2 \text{ menit}}} \\
 &= 50,3 \text{ mg/L} \\
 \text{Kebutuhan klor per hari} &= \text{Dosis klor} \times Q \times 0,001 \\
 &= 50,3 \text{ mg/L} \times 100 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,001 \\
 &= 5,03 \text{ kg/hari} \\
 \% \text{ Cl}^- \text{ aktual pada NaOCl} &= 47\% \\
 \text{Kebutuhan NaOCl} &= \frac{\text{Kebutuhan klor}}{\% \text{ Cl}^- \text{ aktual}} \\
 &= \frac{5,03 \text{ kg/hari}}{47\%} \\
 &= \mathbf{10,7 \text{ kg/hari}}
 \end{aligned}$$

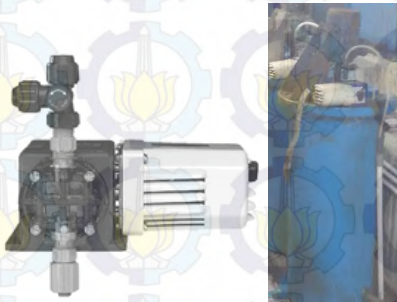
Kondisi larutan NaOCl yang ada di pasaran berada dalam persentase berat per volume (w/v). Sebelum digunakan terlebih dahulu diencerkan untuk menyesuaikan kebutuhan klor yang diinginkan. Berikut ini merupakan perhitungannya.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar NaOCl di} &= 12\% \text{ w/v} \\
 \text{pasaran} &= 120 \text{ g/1000 mL} \\
 &= 120000 \text{ mg/L} \\
 &= \mathbf{120 \text{ kg/m}^3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan larutan NaOCl berdasarkan pasaran} &= \frac{\text{Kebutuhan NaOCl}}{\text{Kadar NaOCl di pasaran}} \\
 &= \frac{10,7 \text{ kg/hari}}{120 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 0,0892 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 89,2 \text{ L/hari} \\
 &= \mathbf{1,03 \text{ mL/detik}}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah perhitungan debit dan dosis yang mampu diberikan oleh *dosing pump* yang tersedia dengan Gambar 5.25 yang menunjukkan *dosing pump* yang digunakan.

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis Dosing pump} &= \mathbf{\text{Pulsafeeder Chemtech 100/030}} \\
 \text{Kapasitas dosing pump} &= 4,72 \text{ L/jam} \\
 &= \mathbf{1,3 \text{ mL/detik}}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.24 *Dosing pump* Pulsafeeder Chemtech 100/030 dan Tabung Pelarut

Kapasitas *dosing* dari *dosing pump* yang ada yang ada lebih besar daripada kebutuhan larutan NaOCl. Oleh karena itu, diperlukan pengenceran dosis NaOCl dari dosis untuk 0,2 mL/detik menjadi dosis untuk 1,3 mL/detik. Pengenceran juga dilakukan untuk menurunkan konsentrasi larutan NaOCl pekat yang ada

dipasaran. Berikut ini merupakan perhitungan pengenceran NaOCl.

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas dosing pump} &= 1,3 \text{ mL/detik} \\
 \text{Kebutuhan larutan NaOCl} &= 1,03 \text{ mL/detik} \\
 \text{dari larutan NaOCl pasaran} & \\
 \text{Pengenceran yang} &= \frac{\text{Kapasitas dosing pump}}{\text{Kebutuhan larutan NaOCl}} \\
 \text{dibutuhkan} &= \frac{1,3 \text{ mL/detik}}{1,03 \text{ mL/detik}} \\
 &= \mathbf{1,3 \text{ kali pengenceran}}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya adalah perhitungan kebutuhan larutan NaOCl harian beserta air pengencer yang dibutuhkan serta kapasitas tabung penampung yang dibutuhkan. Berikut ini merupakan perhitungannya dengan Tabel 5.29 menunjukkan *review* desain beserta rekomendasi untuk unit desinfeksi.

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan larutan NaOCl} &= 1,03 \text{ mL/detik} \\
 &= 8892 \text{ mL/hari} \\
 &= \mathbf{0,089 \text{ m}^3/\text{hari}} \\
 \text{Kebutuhan air pengencer} &= \text{Kebutuhan larutan NaOCl} \times \\
 &\text{pengenceran} \\
 &= 0,089 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,3 \\
 &= \mathbf{0,11 \text{ m}^3/\text{hari}} \\
 \text{Kebutuhan total} &= \text{Kebutuhan larutan NaOCl} + \\
 &\text{kebutuhan air pengencer} \\
 &= 0,089 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,11 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= \mathbf{0,200 \text{ m}^3/\text{hari}} \\
 \text{Volume tabung pelarut} &= 0,100 \text{ m}^3 \\
 \text{Lama penyimpanan} &= \frac{\text{Volume tabung}}{\text{Volume NaOCl}} \\
 \text{larutan NaOCl} &= \frac{0,100 \text{ m}^3}{0,200 \text{ m}^3} \\
 &= \mathbf{0,5 \text{ hari}}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa tabung pelarut NaOCl hanya mampu menampung kebutuhan klor dalam 0,5 hari.

Oleh karena itu pengisian NaOCl dan air pengencernya dilakukan sehari 2x. Selanjutnya adalah menghitung gradien kecepatan dari tabung pelarut NaOCl. Didalam tabung terdapat *mixer* yang berfungsi untuk mengaduk NaOCl dengan air pengencer. Berikut ini merupakan perhitungan gradien kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Jenis mixer} &= \text{SUS 304} \\
 \text{Daya motor} &= 180 \text{ Watt} \\
 \text{Volume air yang diaduk} &= 0,12 \text{ m}^3 \\
 \mu \text{ (Viskositas Absolut Air)} &= 0,8949 \times 10^{-3} \text{ pada suhu } 25^\circ\text{C} \\
 G \text{ (Gradien Kecepatan)} &= \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \\
 &= \sqrt{\frac{180 \text{ Watt}}{0,8949 \times 10^{-3} \times 0,12 \text{ m}^3}} \\
 &= \mathbf{1249 \text{ detik}^{-1}} \\
 &\text{(Terjadi pengadukan cepat)}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.29 Review Desain Unit Desinfeksi

Parameter	Kondisi Eksisting	Kebutuhan	Keterangan	Rekomendasi
Kebutuhan larutan NaOCl	Tidak rutin	0,2 m ³ /hari	Penyediaan larutan NaOCl tidak rutin	<ul style="list-style-type: none"> - Penyediaan larutan NaOCl sebesar 0,089 m³/hari ditambah air sebesar 0,11 m³/hari. - Penyediaan dilakukan 2 x sehari

5.5 *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

5.5.1 BOQ dan RAB Tiap Unit

Rekomendasi dari evaluasi kinerja dan *review* desain menunjukkan perlu adanya penambahan alat maupun bahan kimia untuk mengoptimalkan efisiensi IPAL-Toksik. Harga bahan mengikuti harga yang ada di pasaran. Upah pekerja mengikuti HSPK Kota Surabaya tahun 2015. Tabel 5.30 merupakan perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan pada bak netralisasi. Tabel 5.31 merupakan perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan pada bak pengendap. Tabel 5.32 merupakan penjumlahan biaya yang dibutuhkan secara keseluruhan.

Tabel 5.30 BOQ dan RAB Bak Netralisasi

BOQ		RAB	
Kebutuhan	Jumlah Satuan	Harga Satuan	Harga Total
Bahan			
Pompa <i>Grundfos NS Basic 3-40</i>	2 pc	Rp. 6.160.000	Rp.12.320.000
Pompa <i>Grundfos SLV.25.A25.30</i>	2 pc	Rp.17.556.880	Rp.35.113.760
Pipa PVC <i>Rucika 2 ½"</i>	7,6 m	Rp. 36.422	Rp. 276.807
Elbow PVC <i>Rucika 2 ½"</i>	7 pcs	Rp. 6.015	Rp. 42.105
Tee PVC <i>Rucika 2 ½"</i>	1 pc	Rp. 7.830	Rp. 7.830
Valve PVC <i>Rucika 2 ½"</i>	2 pcs	Rp. 8.502	Rp. 17.004
Lem Tube PVC <i>Tropical Glue</i>	1 pc	Rp. 4.125	Rp. 4.125
Pipa PVC <i>Rucika 1 ½"</i>	34,3 m	Rp. 9.903	Rp. 682.581

BOQ		RAB	
Elbow PVC <i>Rucika</i> 1 ½"	21 pc	Rp. 2.075	Rp. 43.575
Increaser <i>Rucika</i> 1 ½" – 2 ½"	1 pc	Rp. 3.405	Rp. 3.405
Filter Press <i>General Electric ½</i> <i>ft² Manual Mini</i> <i>Filter Press</i>	1 pc	Rp.31.667.666	Rp.31.667.666
Total Biaya Bahan			Rp.80.178.858
Upah Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 1 ½"			
Mandor	0,0018 OH	Rp. 120.000	Rp. 216
Tukang	0,06 OH	Rp. 105.000	Rp. 6.300
Upah pemasangan 1 m pipa air kotor 1 ½"			Rp. 6.516
Upah pemasangan 34,3 m pipa air kotor			Rp. 223.498
Upah Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 2 ½"			
Mandor	0,0041 OH	Rp. 120.000	Rp. 492
Tukang	0,135 OH	Rp. 105.000	Rp. 14.667
Upah pemasangan 1 m pipa air kotor 1 ½"			Rp. 15.159
Upah pemasangan 7,6 m pipa air kotor			Rp. 115.208
Total Upah Pekerja			Rp. 115.208
Total Keseluruhan			Rp.80.517.564

Tabel 5.31 BOQ dan RAB Bak Pengendap

BOQ		RAB	
Kebutuhan	Jumlah Satuan	Harga Satuan	Harga Total
Bahan			
Pompa Grundfos SLV.25.A25.30	1 pc	Rp.17.556.880	Rp.17.556.880
Pipa PVC <i>Rucika</i> 2 ½"	5,4 m	Rp. 36.422	Rp. 196.678
Elbow PVC <i>Rucika</i> 2 ½"	6 pcs	Rp. 6.015	Rp. 36.090
Tee PVC <i>Rucika</i> 2 ½"	1 pc	Rp. 7.830	Rp. 7.830
Valve PVC <i>Rucika</i> 2 ½"	1 pcs	Rp. 8.502	Rp. 8.502
Lem Tube PVC <i>Tropical Glue</i>	1 pc	Rp. 4.125	Rp. 4.125
Total Biaya Bahan			Rp.17.810.105

BOQ		RAB	
Upah Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 2 ½”			
Mandor	0,0041 OH	Rp. 120.000	Rp. 492
Tukang	0,135 OH	Rp. 105.000	Rp. 14.667
Upah pemasangan 1 m pipa air kotor 1 ½”			Rp. 15.159
Upah pemasangan 8,2 m pipa air kotor			Rp. 124.304
Total Keseluruhan			Rp.17.934.409

Tabel 5.32 Rekapitulasi RAB

Unit	Harga Total
Bak Netralisasi	Rp. 80.517.564
Bak Pengendap	Rp. 17.934.409
Grand Total	Rp. 98.451.973

5.5.2 Biaya Operasional Bulanan

Biaya operasional bulanan adalah biaya tetap yang harus dikeluarkan tiap bulannya agar proses operasional dapat berjalan lancar. Komponen yang harus dihitung biaya operasionalnya adalah unit yang menghabiskan sumber daya, yakni bahan bakar dan listrik. Berdasarkan hal *review* desain, komponen yang terkena biaya operasional bulanan adalah pompa penambahan debit, pompa penguras lumpur, dan penyediaan larutan NaOCl. Berikut ini perhitungan dari masing-masing komponen dengan Tabel 5.33 dibawah merangkum perhitungan biaya operasional bulanan

- Kebutuhan Listrik Pompa Penambahan Debit

Pompa penambahan debit merupakan pompa yang digunakan untuk menyedot air drainase. *Suction* pompa penambahan debit diletakkan pada drainase sedangkan *discharge* pompa diletakkan pada bak netralisasi kompartemen 1. Pompa penambahan debit dioperasikan secara terus menerus selama 24 jam seminggu. Perhitungan beban listrik per bulan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mellen dan Pudjihardjo (2013). RSU Haji Surabaya memiliki tarif dasar listrik golongan S-3/TM dengan

batas daya diatas 200 kVA. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 31 Tahun 2014, tarif dasar listrik untuk keperluan pelayanan sosial dengan golongan S-3/TM sebesar Rp. 735 per kWh. Perhitungan listrik dibagi menjadi dua jenis, yakni berdasarkan blok Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan blok Waktu Beban Puncak (WBP) pada jam 17.00-22.00. Sehingga, RSUD Haji Surabaya memiliki 5 jam WBP dan 19 jam LWBP. Berikut ini merupakan perhitungan biaya listrik per bulan untuk pengoperasian pompa penambah debit. Terdapat perbedaan biaya antara kedua jenis waktu beban diatas, yakni perlu dikalikan faktor pengali dan faktor perbandingan harga WBP dan LWBP yang ditetapkan oleh Direksi PT. PLN (Persero).

$$\begin{aligned} \text{Tarif LWBP} &= \text{Faktor pengali} \times \text{Biaya per kWh} \\ &= 1 \times \text{Rp. 735} \\ &= \text{Rp. 735/kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tarif WBP} &= \text{Faktor perbandingan} \times \text{Tarif LWBP} \\ &= 1,5 \times 1 \times \text{Rp. 735} \\ &= \text{Rp. 1102,5/kWh} \end{aligned}$$

Faktor pengali sebesar satu (1) karena pelanggan S-3 bersifat sosial murni. Faktor perbandingan sebesar 1,5 ditetapkan oleh Direksi PT. PLN (Persero). Berikut ini merupakan perhitungan biaya listrik yang dikeluarkan per bulan untuk pengoperasian pompa penambah debit.

$$\begin{aligned} \text{Daya pompa penambahan debit} &= 800 \text{ Watt} \\ \text{Lama Pengoperasian harian} &= 24 \text{ jam} \\ \text{Lama Pengoperasian bulanan} &= 30 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik saat LWBP} &= \text{Daya} \times \text{Biaya /kWh} \times 19 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\ &= 0,8 \text{ kW} \times \text{Rp. 735} \times 19 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. 335.160} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik saat WBP} &= \text{Daya} \times \text{Biaya /kWh} \times 5 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\ &= 0,8 \text{ kW} \times \text{Rp. 1102,5} \times 5 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. 132.300} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik per bulan} &= \text{Rp. } 335.160 + 132.200 \\ &= \text{Rp. } 467.460 \end{aligned}$$

- Kebutuhan Listrik Pompa Penguras Lumpur

Pompa penguras lumpur yang digunakan pada IPAL-Toksik sebanyak dua (2) buah dengan spesifikasi pompa yang sama. Waktu pengoperasian pompa berbeda-beda. Pompa penguras lumpur pada bak netralisasi dioperasikan selama 0,37 menit tiap hari dan pompa penguras lumpur bak pengendap dioperasikan selama 4,4 menit tiap dua (2) hari sekali. Perhitungan biaya listrik per bulan pompa penguras lumpur mengikuti tarif dasar listrik pada perhitungan pompa penambah debit. Waktu pengoperasian pompa pada pukul 15.00, yakni Berikut ini merupakan perhitungan biaya listrik per bulan.

- Pompa penguras lumpur pada bak netralisasi

Daya pompa penambahan debit	=	2900 Watt
Lama Pengoperasian harian	=	0,37 menit
	=	0,0003 hari
Lama Pengoperasian bulanan	=	30 hari

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik saat LWBP} &= \text{Daya} \times \text{Biaya /kWh} \times 3 \times 10^{-4} \text{hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 2,9 \text{ kW} \times \text{Rp. } 735 \times 0,0003 \text{ hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 19,18 \end{aligned}$$

- Pompa penguras lumpur pada bak pengendap

Daya pompa penambahan debit	=	2900 Watt
Lama Pengoperasian harian	=	2,2 menit
	=	0,002 hari
Lama Pengoperasian bulanan	=	30 hari

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik saat LWBP} &= \text{Daya} \times \text{Biaya /kWh} \times 0,002 \text{ hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 2,9 \text{ kW} \times \text{Rp. } 735 \times 0,002 \text{ hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 127,89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik per bulan} &= \text{Rp. } 19,18 + 127,89 \\ &= \text{Rp. } 147,07 \end{aligned}$$

- **Kebutuhan Larutan NaOCl**

Kebutuhan larutan NaOCl untuk proses desinfeksi telah dihitung pada subbab sebelumnya, yakni sebesar 0,0895 m³/hari atau 89,5 L/hari. Selain menghitung kebutuhan larutan NaOCl 12% yang dibeli di pasaran, juga menghitung kebutuhan air untuk mengencerkan larutan NaOCl. Kebutuhan air harian sebesar 0,11 m³/hari. Harga per m³ dari PDAM Kota Surabaya diatur dalam Peraturan Walikota Surabaya Nomor 55 Tahun 2005 tentang Tarif Air Minum dan Struktur Pemakaian Air Minum Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya. Rumah Sakit merupakan layanan kesehatan pemerintah dari kode tarif 2B dengan rincian tarif dibawah ini:

- Konsumsi air sebesar 0 - 10 m³ = Rp. 500 /m³
- Konsumsi air sebesar 11 m³ - 20 m³ = Rp. 1.000 /m³
- Konsumsi air sebesar 20 m³ - 30 m³ = Rp. 2.250 /m³ .

$$\begin{aligned} \text{Biaya retribusi air} &= \text{Volume air yang dikonsumsi} \times \text{Tarif} \times 30 \\ &= 0,11 \text{ m}^3/\text{hari} \times \text{Rp. } 500 \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 1.650 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya penyediaan NaOCl} &= \text{Kebutuhan NaOCl} \times \text{Harga} \times 30 \text{ hari} \\ &= 89,5 \text{ L/hari} \times \text{Rp. } 2.500/\text{L} \times 30 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 6.712.500 \end{aligned}$$

Tabel 5.33 Biaya Operasional Bulanan

Kebutuhan	Harga Total
Kebutuhan Listrik Pompa Penambah Debit	Rp. 467.460
Kebutuhan Listrik Pompa Lumpur	Rp. 147
Biaya penyediaan NaOCl	Rp. 6.712.500
Biaya retribusi air untuk pengenceran NaOCl	Rp. 1.650
Grand Total	Rp. 7.197.482

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian ini adalah:

1. Hasil evaluasi kinerja IPAL-Toksik Rumah Sakit X antara lain:
 - a. Efisiensi removal bak netralisasi sebesar 20,0% untuk parameter BOD, 45,6 % untuk parameter TSS, 11,4% untuk parameter COD, 46,1% untuk parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ bebas, dan 21,3% untuk parameter PO_4^{3-} .
 - b. Efisiensi removal unit RBC sebesar 11,3% untuk parameter BOD, 36,0% untuk parameter TSS, 20,5% untuk parameter COD, 38,5% untuk parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ bebas, dan 4,3% untuk parameter PO_4^{3-} .
 - c. Efisiensi removal bak pengendap sebesar 8,1% untuk parameter BOD, 33,9% untuk parameter TSS, 11,3% untuk parameter COD, 49,7% untuk parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ bebas, dan 19,2% untuk parameter PO_4^{3-} .
 - d. Efisiensi removal unit desinfeksi sebesar 78,2% untuk parameter Total Coliform/100 ml Air.
 - e. Efisiensi removal IPAL-Toksik dalam mengolah air limbah sebesar 77 % untuk parameter TSS, 37,5% untuk parameter COD, 83,3% untuk parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ bebas, 39,2% untuk parameter PO_4^{3-} , dan 78, 2% untuk Total Coliform/100 ml Air.
 - f. Tidak ada perubahan pH dan suhu saat sebelum dan sesudah pengolahan.
 - g. Efluen IPAL-Toksik Rumah Sakit X belum memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72/2013.
2. Hasil rekomendasi *review* desain menunjukkan bahwa IPAL-Toksik Rumah Sakit X membutuhkan pompa penambahan debit untuk mengalirkan debit air bekas wudu dan greywater kamar mandi masjid dari drainase, pengubahan kecepatan rotasi RBC menjadi 4 r pm,

penyediaan pompa penguras lumpur dan penyediaan larutan NaOCl.

3. Biaya yang dikeluarkan dalam penerapan rekomendasi *review* desain sebesar Rp. 98.451.973 dan biaya operasional bulanan yang dikeluarkan sebesar Rp. 7.197.482 per bulan.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja dan *review desain* IPAL Rumah Sakit, maka dapat ditentukan beberapa saran berikut:

1. Pengambilan sampel untuk unit RBC sebaiknya dilakukan masing-masing *stage* untuk mengetahui kemampuan removal dan nitrifikasi masing-masing *stage*.
2. Penamaan “Bak Netralisasi” perlu disesuaikan dengan fungsi dari masing-masing kompartemen unit tersebut, yakni “Bak Netralisasi” pada kompartemen 1 dan “Bak Pengendap 1” pada kompartemen 2 dan 3.
3. Perlu pembuatan *Standard Operational Procedures* (SOP) yang berkaitan dengan operasional maupun perawatan IPAL-Toksik. Sehingga efisiensi kinerja dari masing-masing unit pengolahan dapat terjaga dan tidak mengganggu.
4. Perlu ada kajian mengenai penggunaan bersama *sludge drying bed* pada IPAL-Non Toksik, sehingga lumpur dari IPAL-Toksik dapat terolah lebih sempurna kembali.
5. Perlu adanya kajian secara teknis maupun kelembagaan mengenai penggunaan insenerator IPAL Rumah Sakit untuk insenerasi lumpur IPAL-Toksik.

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

1. Analisis Total Suspended Solid (TSS)

Bahan dan Alat

- 1) *Furnace* dengan suhu 550°C
- 2) Oven dengan suhu 105°C
- 3) Cawan porselen 50 mL
- 4) Timbangan analitis
- 5) Desikator
- 6) Cawan petridis
- 7) Kertas saring
- 8) *Vacuum filter*

Prosedur Percobaan

- 1) Cawan porselen dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 1 jam
- 2) Masukkan kertas saring ke oven 105°C selama 1 jam
- 3) Cawan dan kertas saring didinginkan dalam desikator selama 15 menit
- 4) Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg)
- 5) Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada *vacuum filter*
- 6) Tuangkan 25 mL sampel diatas filter yang telah dipasang pada *vacuum filter* (g Mo)
- 7) Saring sampel sampai kering atau airnya habis
- 8) Letakkan kertas saring pada cawan petridis dan masukkan ke oven 105°C selama 1 jam
- 9) Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit
- 10) Timbang dengan timbangan analitis (f mg)
- 11) Hitung jumlah TSS dengan rumus

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(f - e)}{g} \times 1000000$$

dimana:

e = cawan kosong setelah *difurnace* 550°C dan *dioven* 105°C

- f = cawan dan residu setelah dioven 105°C
 g = volume sampel

2. Analisis Nilai Permanganat

Bahan dan Alat

- 1) Larutan Asam Sulfat (H₂SO₄) 4 N yang bebas organik.
- 2) Larutan Asam Oksalat 0,1 N
- 3) Larutan Kalium Permanganat (KMnO₄)
- 4) Pemanas Listrik
- 5) Buret 25 mL atau 50 mL
- 6) Erlenmeyer 250 mL 1 buah
- 7) Gelas ukur 100 mL
- 8) Pipet 10 mL, 1 mL

Prosedur Percobaan

- 1) Tuangkan sampel air sebanyak 100 mL dengan gelas ukur.
- 2) Tambahkan 2,5 mL Asam Sulfat 4 N bebas organik.
- 3) Tambahkan bebrapa tetes larutan Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,01 N hingga terjadi warna merah muda.
- 4) Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.
- 5) Tambahkan 10 mL larutan Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,01 N.
- 6) Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
- 7) Tambahkan 1 mL larutan Asam Oksalat 0,1 N dan tunggu sampai air menjadi jernih.
- 8) Titrasi dengan Kalium Permanganat (KMnO₄) 0,01 N sampai timbul warna merah muda.
- 9) Hitung nilai Permanganat dengan menggunakan rumus berikut:

$$KMnO_4(\text{per } L) = \frac{1000}{V} [(10 + a)N] - (1 \times 0,1) \times 31,6 \times P$$

dimana:

- a = mL titrasi larutan Kalium Permanganat (KMnO₄)
 N = normalitas larutan Kalium Permanganat
 P = pengenceran
 V = volume

3. Analisis Dissolved Oxygen (DO)

Bahan dan Alat

- 1) Larutan Mangan Sulfat ($MnSO_4$)
- 2) Larutan Alkali-Iodida-Azida atau Larutan Pereaksi Oksigen
- 3) Indikator Amilum 0,5%
- 4) Larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N
- 5) Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) pekat
- 6) Botol winkler 1 buah
- 7) Buret 25 mL atau 50 mL
- 8) Pipet 10 mL, 5 mL
- 9) Gelas ukur 100 mL 1 buah
- 10) Erlenmeyer 250 mL 1 buah

Prosedur Percobaan

- 1) Ambil sampel langsung dari lokasi sampel dengan cara memasukkan botol winkler ke dalam air sampai botol penuh dan tutup.
- 2) Tambahkan 1 mL larutan mangan sulfat.
- 3) Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
- 4) Botol ditutup lagi dengan hati-hati agar tidak ada udara terperangkap dari luar, kemudian balik-balikkan botol beberapa kali.
- 5) Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
- 6) Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan botol beberapa kali sampai endapan hilang.
- 7) Tuangkan air dalam botol sebanyak 100 mL dengan menggunakan gelas ukur 100 mL, masukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL.
- 8) Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N hingga warna menjadi cokelat muda.

4. Analisis Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Bahan dan Alat

- 1) Larutan Buffer Fosfat
- 2) Larutan Magnesium Sulfat
- 3) Larutan Kalium Klorida
- 4) Larutan Feri Klorida

- 5) Bubuk Inhibitor Nitrifikasi
- 6) Benih atau inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gr diencerkan dengan 100 mL air
- 7) Larutan Mangan Sulfat
- 8) Larutan Pereaksi Oksigen
- 9) Indikator Amilum 0,5%
- 10) Asam Sulfat pekat
- 11) Larutan Standart Natrium Tiosulfat 0,0125 N
- 12) Aerator untuk mengaerasi air pengencer
- 13) Drum atau ember untuk air pengencer
- 14) Botol winkler 300 mL 2 buah
- 15) Botol winkler 150 mL 2 buah
- 16) Inkubator dengan suhu 20°C
- 17) Labu takar 500 mL 1 buah
- 18) Pipet 10 mL, 5 mL
- 19) Gelas ukur 100 mL 1 buah
- 20) Buret 25 mL atau 50 mL
- 21) Erlenmeyer 250 mL 1 buah

Prosedur Percobaan

A. Pembuatan Air Pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya:

- 1) Tambahkan 1 mL larutan Buffer Fosfat per liter air
- 2) Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter air
- 3) Tambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter air
- 4) Tambahkan 1 mL larutan Feri Klorida per liter air
- 5) Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
- 6) Aerasi minimal selama 2 jam
- 7) Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air

B. Prosedur BOD

1) Menentukan Pengenceran

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka $KMnO_4$ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{3 \text{ atau } 5}$$

2) Prosedur BOD dengan *winkler*

- a) Siapkan 1 buah labu takar 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
- b) Siapkan 2 buah botol *winkler* 300 mL dan 2 buah botol *winkler* 150 mL.
- c) Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol *winkler* 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- d) Tuangkan air pengencer ke botol *winkler* 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- e) Masukkan kedua botol *winkler* 300 mL ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
- f) Kedua botol *winkler* 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
 - Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
 - Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang
- g) Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol *winkler* 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
- h) Hitung Oksigen Terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT \left(\frac{mgO_2}{L} \right) = \frac{a N 8000}{100 mL}$$

$$BOD_5^{20} \left(\frac{mgO_2}{L} \right) = \frac{[(X_o - X_5) - (B_0 - B_5)] (1 - P)}{P}$$

$$\text{dengan } P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume pengenceran}}$$

dimana:

- X_0 = oksigen terlarut sampel pada $t = 0$
- X_5 = oksigen terlarut sampel pada $t = 5$
- B_0 = oksigen terlarut blangko pada $t = 0$
- B_5 = oksigen terlarut blangko pada $t = 5$
- P = derajat pengenceran

5. Analisis Chemical Oxygen Demand (COD)

Bahan dan Alat

- 1) Larutan Kalium Dikromat $K_2Cr_2O_7$
- 2) Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4)
- 3) Kristal Merkuri Sulfat (Hg_2SO_4)
- 4) Larutan Standart Ferro Amonium Sulfat 0,05 N
- 5) Larutan Indikator Fenantrolin Ferro Sulfat (Feroin)
- 6) Buret 50 mL 1 buah
- 7) Erlenmeyer 500 mL 2 buah
- 8) Pemanas 1 buah
- 9) Pipet 10 mL, 5 mL
- 10) Beker glass 50 mL 1 buah
- 11) Tabung COD

Prosedur Percobaan

- 1) Ambil sampel sebanyak 1 mL, kemudian diencerkan sampai 100 kali.
- 2) Siapkan 2 buah tabung COD, kemudi dimasukkan sampel yang telah diencerkan sebanyak 1 mL dan aquades sebanyak 1 mL sebagai blangko.
- 3) Tambahkan larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 mL.
- 4) Tambahkan campuran asam perak sulfat dan asam sulfat sebanyak 3,5 mL.
- 5) Panaskan alat pemanas, lalu panaskan tabung COD selama 2 jam. Tutup tabung dengan rapat.

- 6) Setelah 2 jam dipanaskan, angkat tabung COD dari pemanas, lalu diamkan hingga mencapai suhu ruang.
- 7) Tuang larutan COD ke dalam erlenmeyer secara cepat, lalu tutup untuk mencegah penguapan.
- 8) Tambahkan indikator ferroin sebanyak 1 tetes.
- 9) Titrasikan larutan COD dengan larutan standar FAS 0,05 N hingga berwarna merah bata
- 10) Hitung COD sampel dengan rumus berikut:

$$COD \left(\frac{mgO_2}{L} \right) = \frac{(a - b)N 8000}{V} \times p$$

dimana:

- a = mL FAS titrasi blanko
- b = mL FAS titrasi sampel
- N = normalitas larutan FAS
- F = faktor (20 : titran blanko ke dua)
- p = pengenceran

6. Analisis pH dan Suhu

Bahan dan Alat

- 1) Larutan buffer pH 4,01 (25°C)
- 2) Larutan buffer pH 6,86 (25°C)
- 3) Larutan buffer pH 9,18 (25°C)
- 4) pH meter.

Prosedur Percobaan

- 1) Karena untuk setiap jenis pH meter mempunyai perlakuan tertentu yang dicantumkan dalam buku petunjuk alat tersebut, maka tidak bisa dibicarakan secara terperinci, hanya saja setiap pH meter hendaknya dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan buffer pH 4,01; 6,86; dan 9,18 sebelum digunakan untuk pengukuran pH dari sampel air. Suhu pengukuran disesuaikan antara suhu pada pH meter dengan suhu sampel pada saat itu.
- 2) Pada keadaan tidak dialiri arus listrik jarum pH meter harus menunjukkan angka 7 kecuali dengan pH meter sistem digital.
- 3) Pembacaan suhu mengikuti suhu yang tertera pada pH meter bersamaan dengan pengukuran pH.

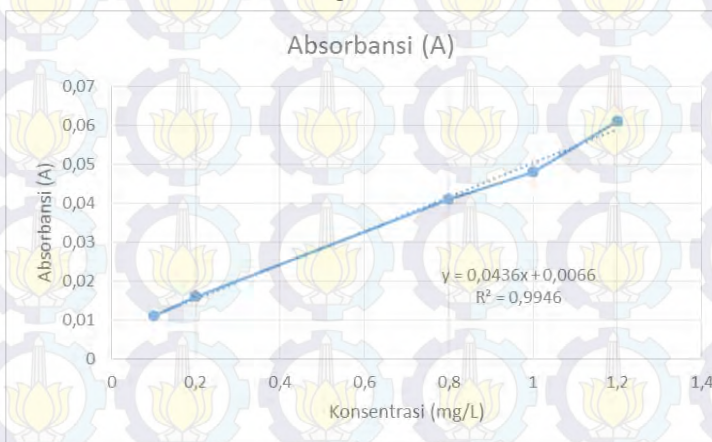
7. Analisis NH₃-N (Ammonia)

Bahan dan Alat

- 1) Larutan Garam signet
- 2) Larutan Nessler
- 3) Erlenmeyer 100 mL 2 buah
- 4) Spektrofotometer dan kuvet
- 5) Pipet 25 mL, 10 mL, 5 mL.

Prosedur Percobaan

- 1) Ambil 2 buah erlenmeyer 100 mL isi masing-masing dengan sampel air dan aquadest (sebagai blanko) sebanyak 25 mL
- 2) Tambahkan 1 mL larutan nessler
- 3) Tambahkan 1,25 mL larutan garam signet
- 4) Aduk dan biarkan selama 10 menit
- 5) Baca pada spektrofotometer dengan panjang gel. 410 μm .
- 6) Absorbansi hasil pembacaan, dihitung dengan rumus hasil kalibrasi atau dibaca dengan kurva kalibrasi.



Konsentrasi Ammonia (mg/L)	Absorbansi (A)
0,1	0,011
0,2	0,016
0,8	0,041
1	0,048
1,2	0,061

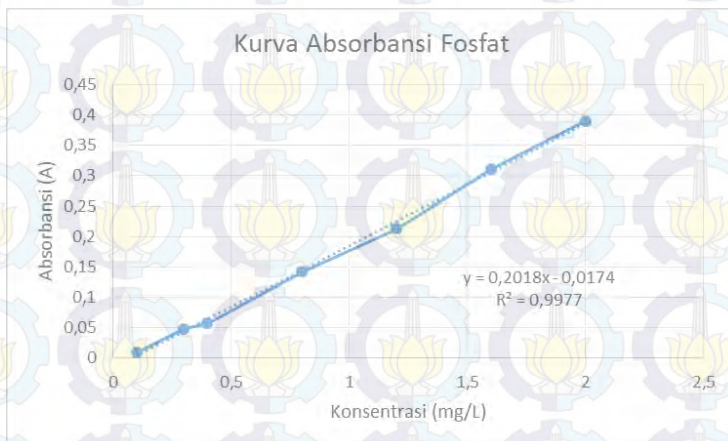
8. Analisis PO_4^{3-} (Fosfat)

Bahan dan Alat

- 1) Larutan Ammonium Molybdate ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- 2) Larutan Klorid timah (SnCl)
- 3) Erlenmeyer 100 mL 2 buah
- 4) Spektrofotometer dan kuvet
- 5) Pipet 25 mL, 10 mL, 5 mL.

Prosedur Percobaan

- 1) Ambil 2 buah erlenmeyer 100 mL isi masing-masing dengan sampel air dan aquadest (sebagai blanko) sebanyak 25 mL
- 2) Tambahkan 1 mL larutan Ammonium Molibdate
- 3) Tambahkan 2-3 tetes larutan klorid timah
- 4) Aduk dan biarkan selama 7 menit
- 5) Baca dengan spektrofotometer pada panjang gel. 650 μm .
- 6) Absorbansi hasil pembacaan, dihitung dengan rumus hasil kalibrasi atau dibaca dengan kurva kalibrasi. Berikut ini merupakan kurva absorbansi yang digunakan.



Konsentrasi PO_4^{3-} (mg/L)	Absorbansi (A)
0,1	0,009
0,3	0,048
0,4	0,057

Konsentrasi PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Absorbansi (A)
0,8	0,142
1,2	0,213
1,6	0,311
2	0,39

9. Analisis Total Coliform/100 ml air

Bahan dan Alat

- 1) Tabung reaksi kecil (18 tabung x 4 = 72 tabung)
- 2) Tabung durham (15 tabung x 4 = 60 tabung)
- 3) Pipet ukur 10 mL (1 buah)
- 4) Pipet ukur 1 mL (1 buah)
- 5) Gelas beaker 500 mL (3 buah)
- 6) Lactose Broth dan natrium klorida (NaCl)
- 7) Akuades
- 8) Pembakar spiritus

Prosedur Percobaan

A. Pembuatan Media Cair

- 1) Timbang serbuk NaCl berdasarkan perhitungan dibawah ini:

$$9 \text{ mL} \times 3 \text{ tabung} \times 4 \text{ sampel} = 108 \text{ mL}$$

$$\frac{108 \text{ mL}}{1000} \times 8,5 = 0,9 \text{ gram} \approx 1 \text{ gram}$$

- 2) Larutkan NaCl gelas beaker sebanyak 108 mL
- 3) Sterilisasi dengan autoklaf selama 2 jam
- 4) Timbang serbuk Lactose Broth berdasarkan perhitungan dibawah ini:

$$10 \text{ mL} \times 15 \text{ tabung} \times 4 \text{ sampel} = 600 \text{ mL}$$

- 5) Pisah larutan LB menjadi 2 bagian masing-masing 300 mL..

$$\frac{300 \text{ mL}}{1000} \times 13 = 3,9 \text{ gram} \approx 4,5 \text{ gram}$$

- 6) Larutkan LB pada 2 gelas beaker masing-masing 300 mL
- 7) Sterilisasi dengan autoklaf selama 2 jam
- 8) Lakukan pengenceran sampel dan inkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C.

- 9) Cocokkan keberadaan gas pada tabung durham dengan tabel Mc-Grady

B. Melakukan Pengenceran
Untuk 5 tabung LB pertama

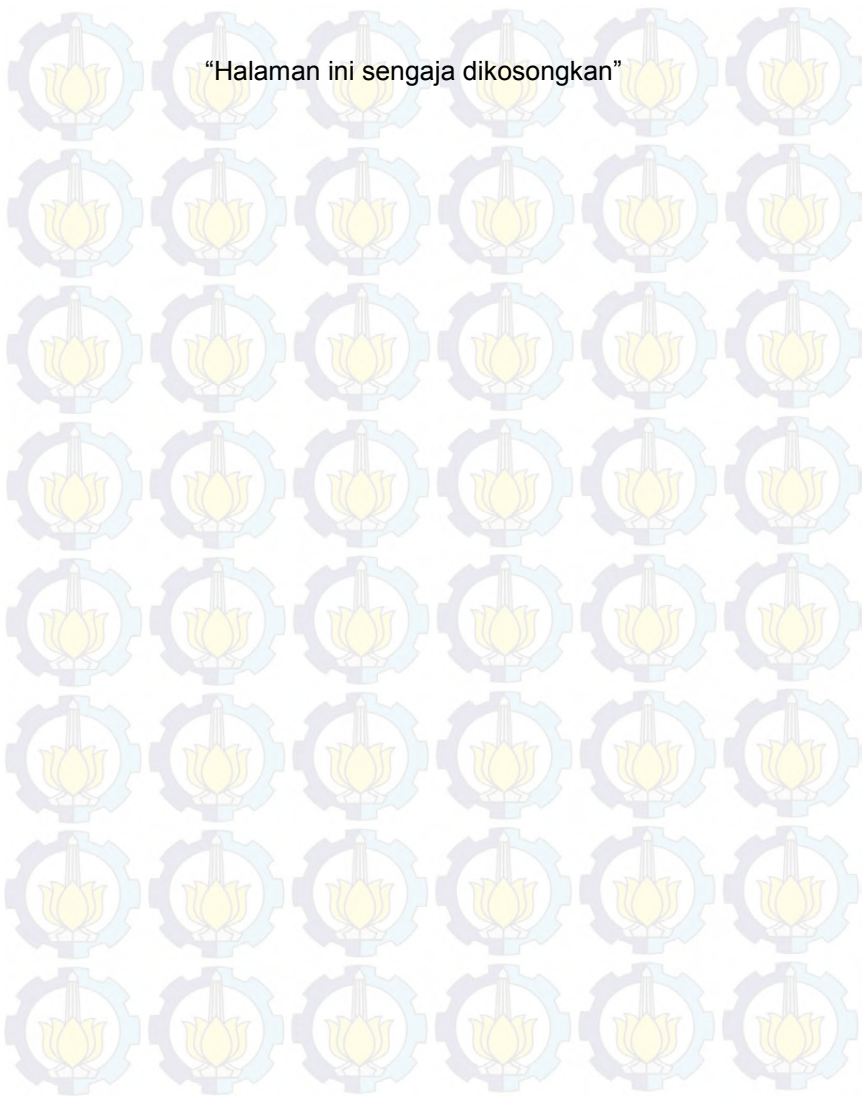
- 1) Siapkan 3 tabung reaksi untuk media NaCl. Ketiga label diberi tanda (1), (2), (3)
- 2) Tuang media masing-masing 9 mL kedalam tabung reaksi
- 3) Tuang sampel sebanyak 1 mL kedalam tabung (1)
- 4) Ambil air dari tabung (1) sebanyak 1 mL, lalu menuangkan ke tabung (2) (pengenceran 10^{-1})
- 5) Ambil air dari tabung (2) sebanyak 5 mL, lalu menuangkan @ 1 mL pada tiap tabung reaksi LB
- 6) Masukkan tabung durham pada tabung reaksi LB

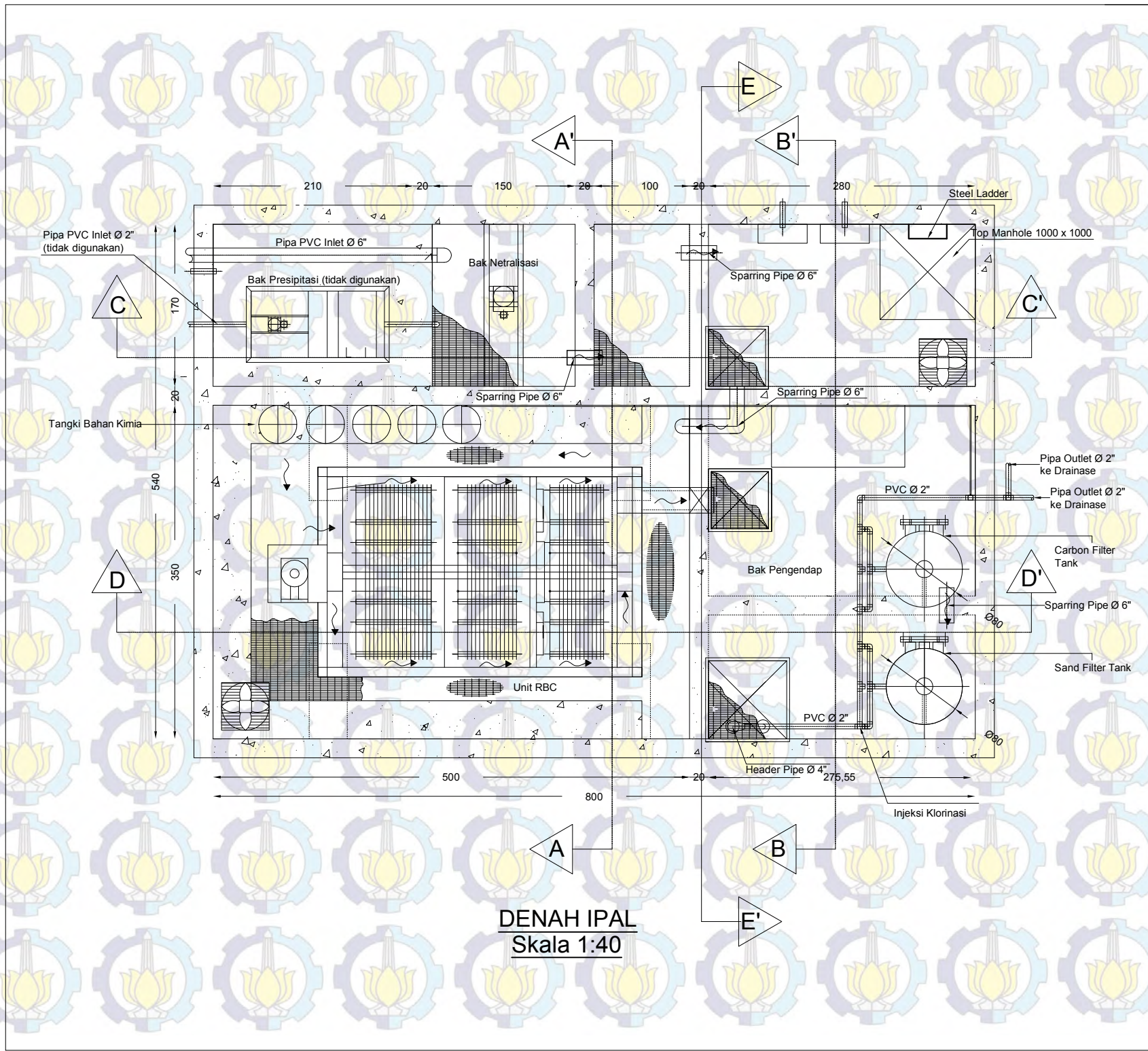
Untuk 5 tabung LB kedua

- 1) Ambil air dari tabung (2) sebanyak 1 mL, lalu menuangkan ke tabung (3) (pengenceran 10^{-2})
- 2) Ambil air dari tabung (3) sebanyak 5 mL, lalu menuangkan @ 1 mL pada tiap tabung reaksi LB
- 3) Masukkan tabung durham pada tabung reaksi LB

Untuk 5 tabung LB ketiga

- 1) Ambil air dari tabung (3) sebanyak 0,5 mL, lalu menuangkan @0,1 mL pada tiap tabung reaksi LB
- 2) Masukkan tabung durham pada tabung reaksi.





DENAH IPAL
Skala 1:40

NOTE:
ALL DIMENSIONS ARE IN CM UNLESS OTHERWISE NOTED



PT. PRAKARSA ENVIRO INDONESIA
GRHA PRAKINDO
Villa Gelard AR 2 No.22
Balokan 17147
Telp. 82-21-82432101 (Hunting)
FAX 82-21-82432105
e-mail: prakindo@comwin.net.id



BETON

5			
4			
3			
2			
1			
0			

NO.	REVISION	DATE	PARAF BY

PROJECT NAME :
RS HAJI SURABAYA
SEWAGE TREATMENT PLANT

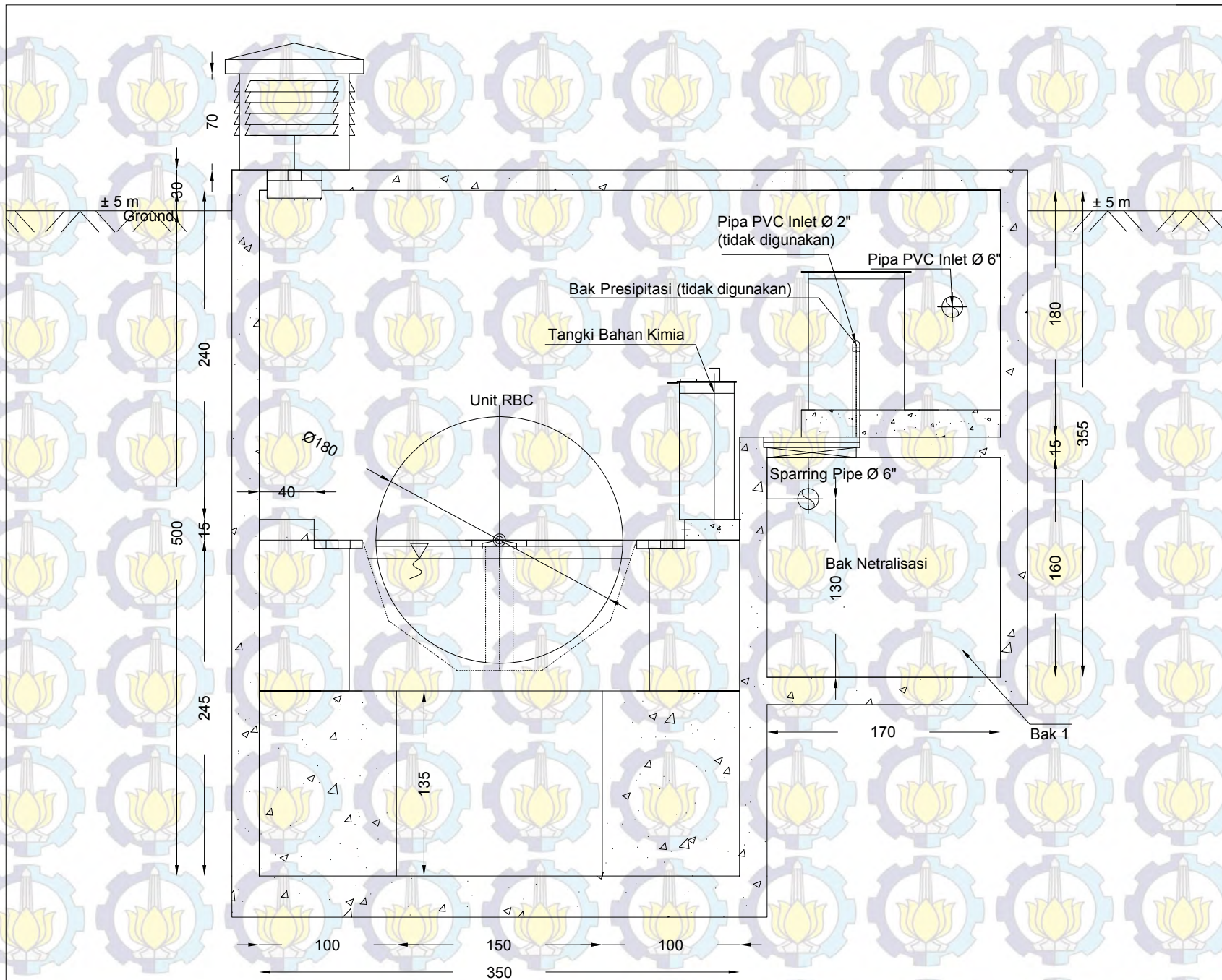
TITLE DWG :
GENERAL ARRANGEMENT
ENVIRO RBC 2100 +
PRECIPITASI & NETRALISASI
Q : 100M³/Day

NOMOR GAMBAR	HALAMAN
B1	

DRAWN : Y45W	APPROVED : TX
DATED : 27-06-2007	DATED : 2007

LOCATED	CHECKED : AGUS
PROJECT NO :	DATED : 2007

SCALE	PAPER	SHEET	TOTAL PAGE



Potongan A-A'
Skala 1:40

NOTE:
 ALL DIMENSIONS ARE IN CM UNLESS OTHERWISE NOTED

PT. PRAKARSA ENVIRO INDONESIA
GRHA PRAKINDO
 Villa Gelend AR 2 No.22
 Bekasi 17147
 TELP. 82-21-82432101 (Hunting)
 FAX 82-21-82432105
 e-mail: prakindo@comwin.net.id

BETON

5			
4			
3			
2			
1			
0			

NO.	REVISION	DATE	PARAF BY

PROJECT NAME :
RS HAJI SURABAYA
SEWAGE TREATMENT PLANT

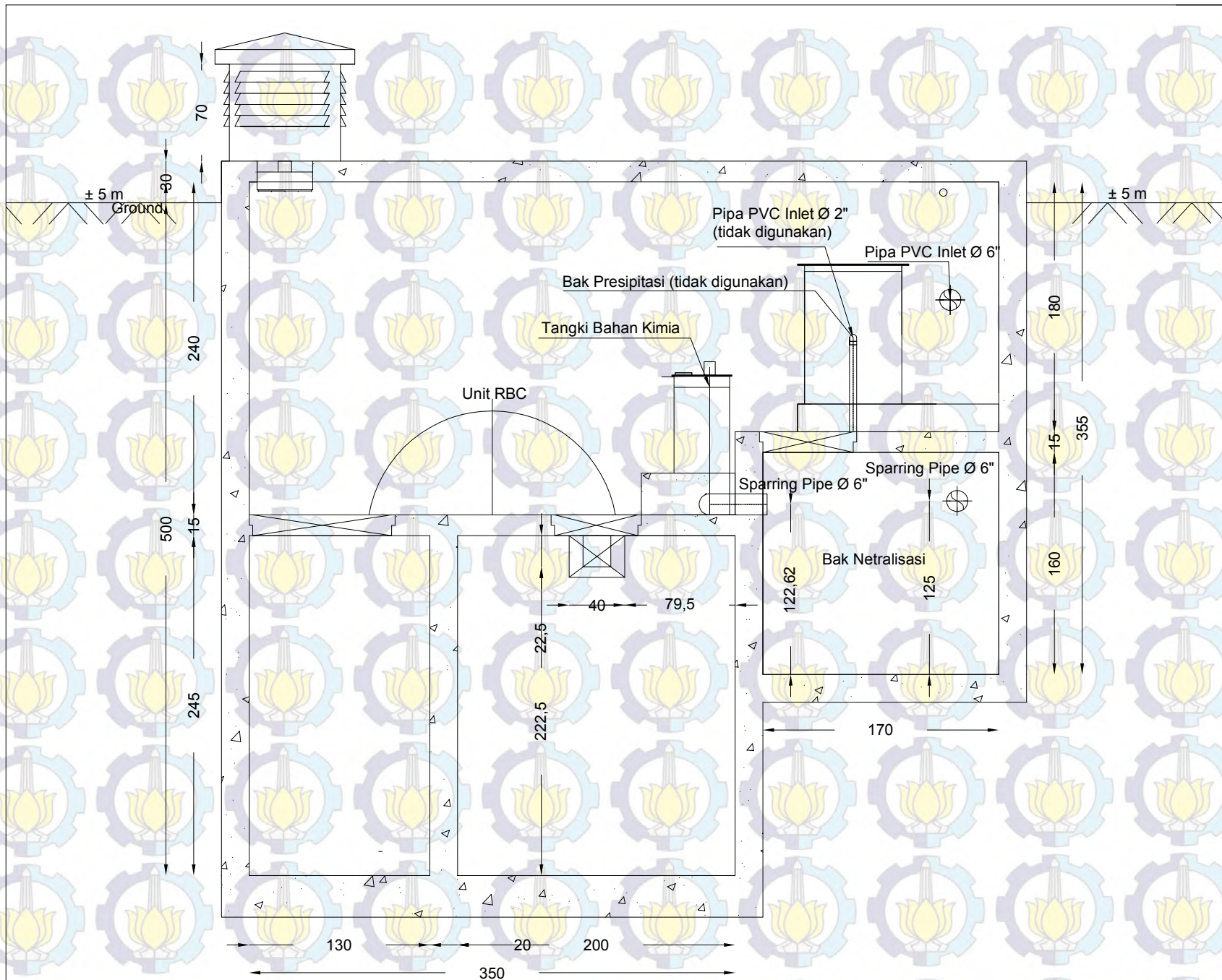
TITLE DWG :
GENERAL ARRANGEMENT
ENVIRO RBC 2100+
PRECIPITASI & NETRALISASI
Q : 100M³/Day

NOMOR GAMBAR	HALAMAN
B2	

DRAWN : Y45W	APPROVED : TX
DATED : 27-06-2007	DATED : 2007

LOCATED	CHECKED : AGUS
PROJECT NO :	DATED : 2007

SCALE	PAPER	SHEET	TOTAL PAGE



Potongan B-B'
Skala 1:40

NOTE:
 ALL DIMENSIONS ARE IN CM UNLESS OTHERWISE NOTED

PT. PRAKARSA ENVIRO INDONESIA
GRHA PRAKINDO
 Villa Gelard AR 2 No.22
 Bekasi 17147
 TELP. 82-21-82432101 (Hunting)
 FAX 82-21-82432105
 e-mail: prakindo@comwin.net.id

BETON

5			
4			
3			
2			
1			
0			

NO.	REVISION	DATE	PARAF BY
-----	----------	------	----------

PROJECT NAME:
RS HAJI SURABAYA
SEWAGE TREATMENT PLANT

TITLE DWG:
GENERAL ARRANGEMENT
ENVIRO RBC 2100+
PRECIPITASI & NETRALISASI
Q: 100M³/Day

NOMOR GAMBAR	HALAMAN
B3	

DRAWN : Y45W	APPROVED : TX
DATED : 27-06-2007	DATED : 2007

LOCATED	CHECKED : AGUS
PROJECT NO :	DATED : 2007

SCALE	PAPER	SHEET	TOTAL PAGE
-------	-------	-------	------------

NOTE:
ALL DIMENSIONS ARE IN CM UNLESS OTHERWISE NOTED



PT. PRAKARSA ENVIRO INDONESIA
GRHA PRAKINDO
 Villa Gelend AR 2 No.22
 Bekasi 17147
 TELP. 82-21-82432101 (Hunting)
 FAX 82-21-82432105
 e-mail: prakindo@enviro.net.id

BETON

5			
4			
3			
2			
1			
0			

NO.	REVISION	DATE	PARAF BY

PROJECT NAME :
RS HAJI SURABAYA
SEWAGE TREATMENT PLANT

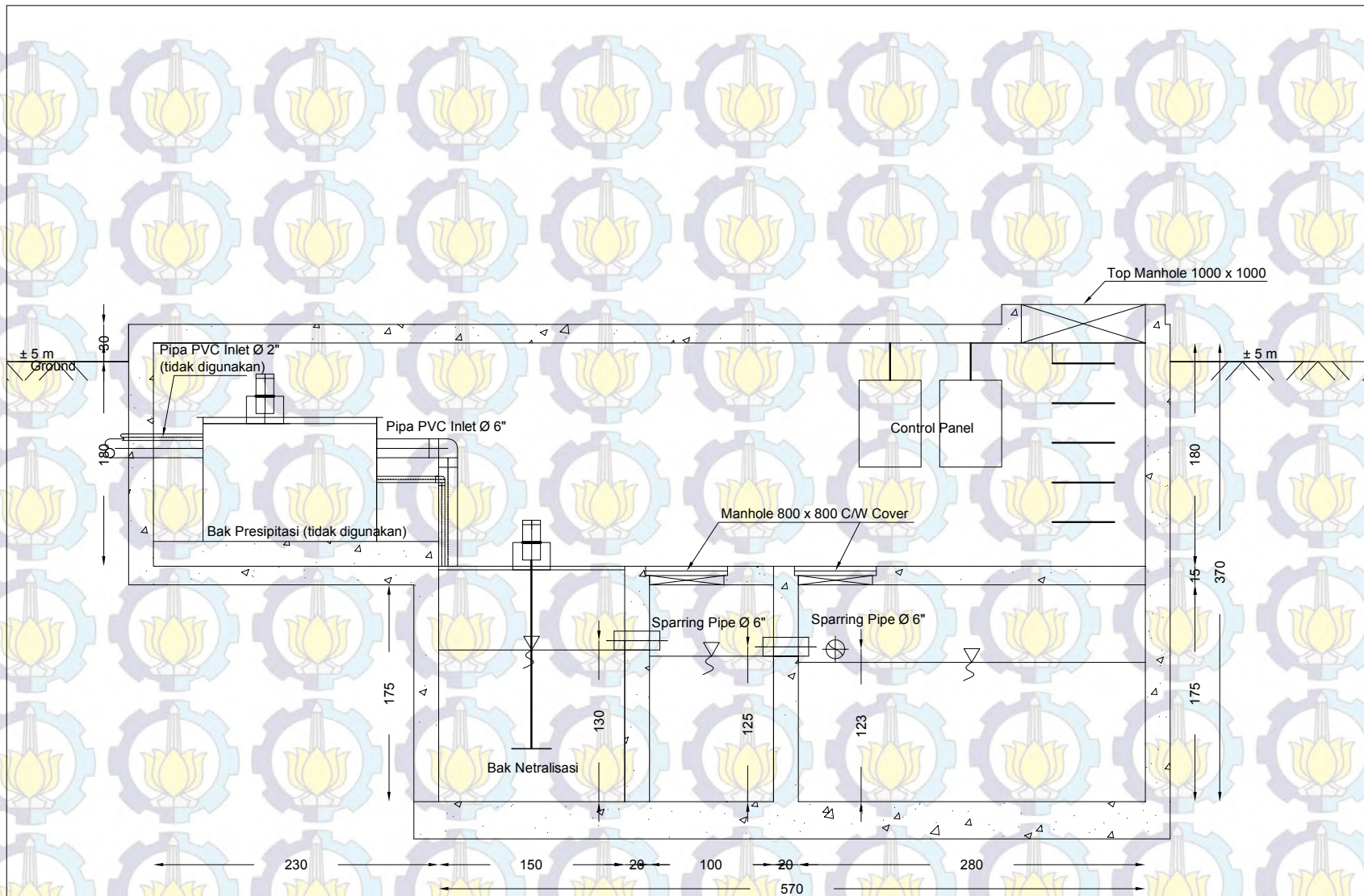
TITLE DWG :
GENERAL ARRANGEMENT
ENVIRO RBC 2100 +
PRECIPITASI & NETRALISASI
Q : 100M³/Day

NOMOR GAMBAR	HALAMAN
B4	

DRAWN : Y45W	APPROVED : TX
DATED : 27-06-2007	DATED : 2007

LOCATED	CHECKED : AGUS
PROJECT NO :	DATED : 2007

SCALE : PAPER SHEET TOTAL PAGE



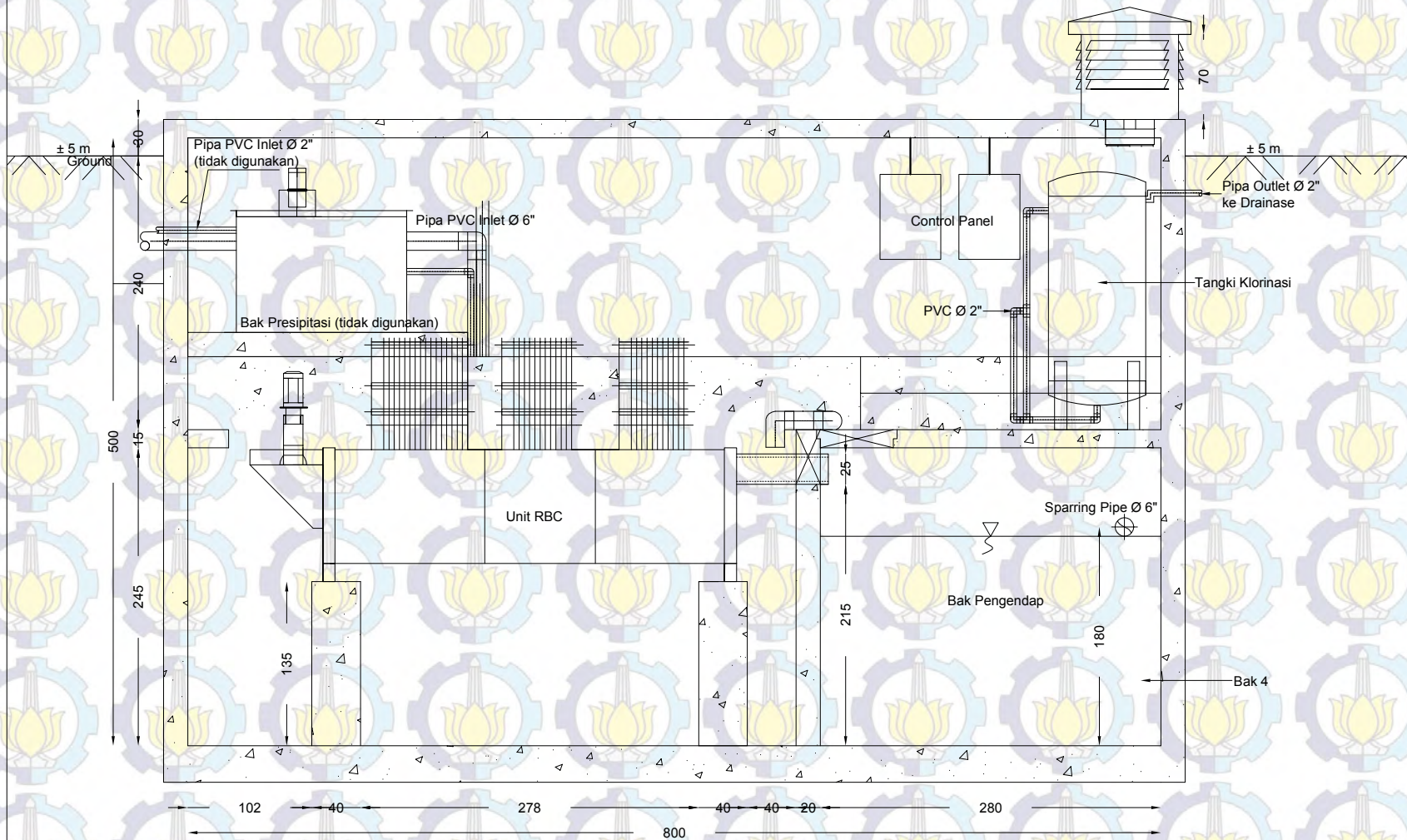
Potongan C-C'
Skala 1:40

NOTE:
ALL DIMENSIONS ARE IN CM UNLESS OTHERWISE NOTED



PT. PRAKARSA ENVIRO INDONESIA
GRHA PRAKINDO
 Villa Gelend AR 2 No.22
 Bekasi 17147
 TELP. 82-21-82432101 (Hunting)
 FAX 82-21-82432105
 e-mail:prastindo@enviroin.net.id

BETON



Potongan D-D'
Skala 1:40

5			
4			
3			
2			
1			
0			

NO.	REVISION	DATE	PARAF BY

PROJECT NAME :
RS HAJI SURABAYA
SEWAGE TREATMENT PLANT

TITLE DWG :
GENERAL ARRANGEMENT
ENVIRO RBC 2100 +
PRECIPITASI & NETRALISASI
 Q : 100M³/Day

NOMOR GAMBAR	HALAMAN
B5	

DRAWN : Y45W	APPROVED : TX
DATED : 27-06-2007	DATED : 2007

LOCATED	CHECKED : AGUS
PROJECT NO :	DATED : 2007
SCALE	PAPER
SHEET	TOTAL PAGE

JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW DESAIN
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK
RUMAH SAKIT

JURUSAN

TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KETERANGAN



BETON

NAMA MAHASISWA

IQBAL IBNU WARDANI
3311100032

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, M.Sc.
NIP. 19550128 198503 2 001

DOSEN Co-PEMBIMBING

Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T.
NIP. 19630705 199203 1 001

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS DAN POTONGAN RBC

SKALA

1:40

KODE GAMBAR

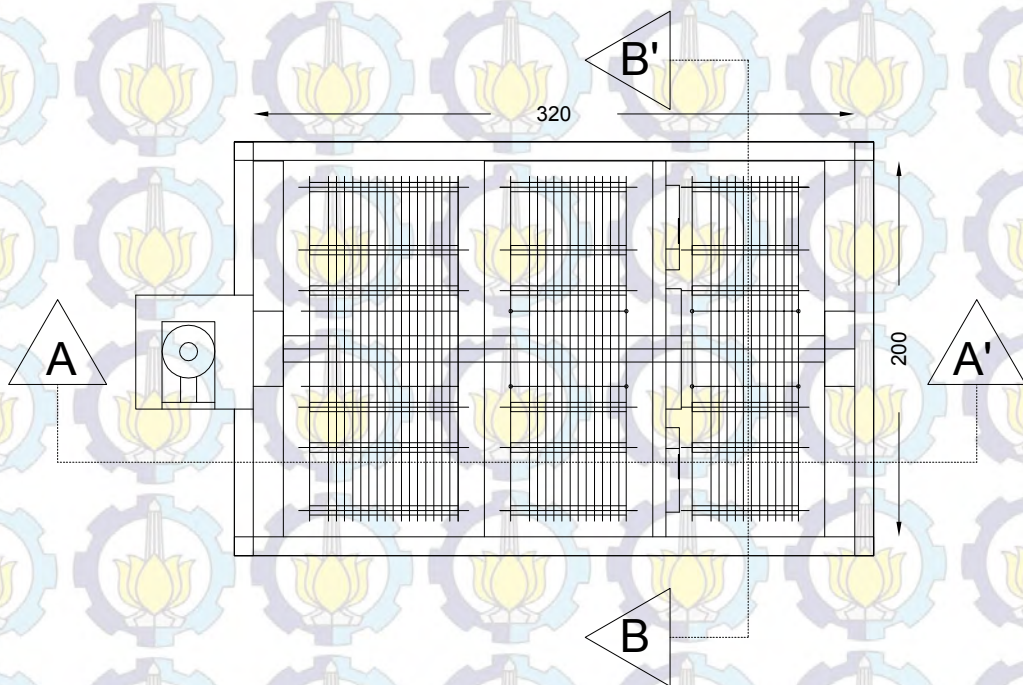
NOMOR GAMBAR

B6

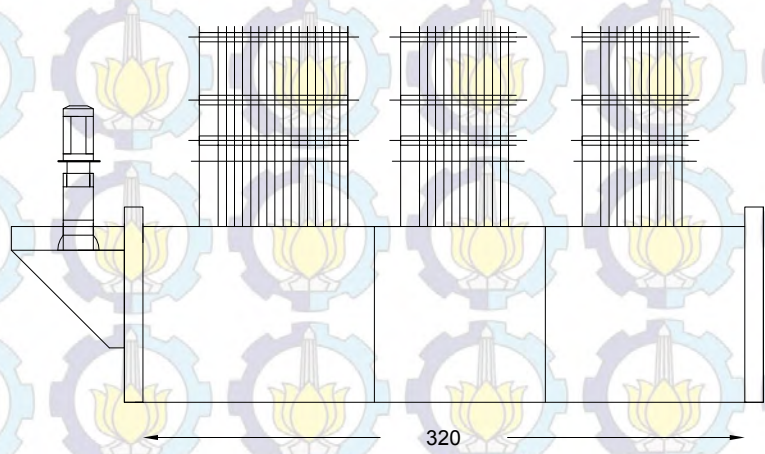
HALAMAN

APPROVED

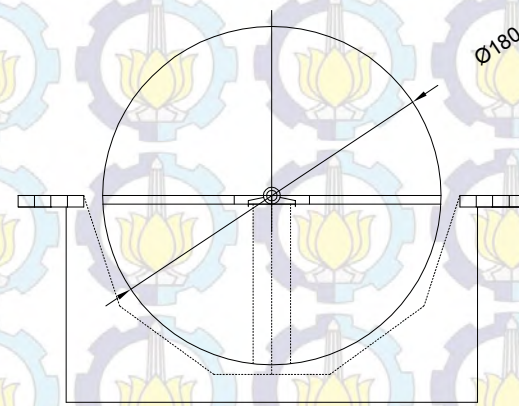
MARK



Tampak Atas RBC



Potongan A-A' RBC



Potongan B-B' RBC

JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW DESAIN
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK
RUMAH SAKIT

JURUSAN

TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KETERANGAN

 BETON

NAMA MAHASISWA

IQBAL IBNU WARDANI
3311100032

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, M.Sc.
NIP. 19550128 198503 2 001

DOSEN Co-PEMBIMBING

Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T.
NIP. 19630705 199203 1 001

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS DAN POTONGAN BAK NETRALISASI

SKALA

1:40

NOMOR GAMBAR

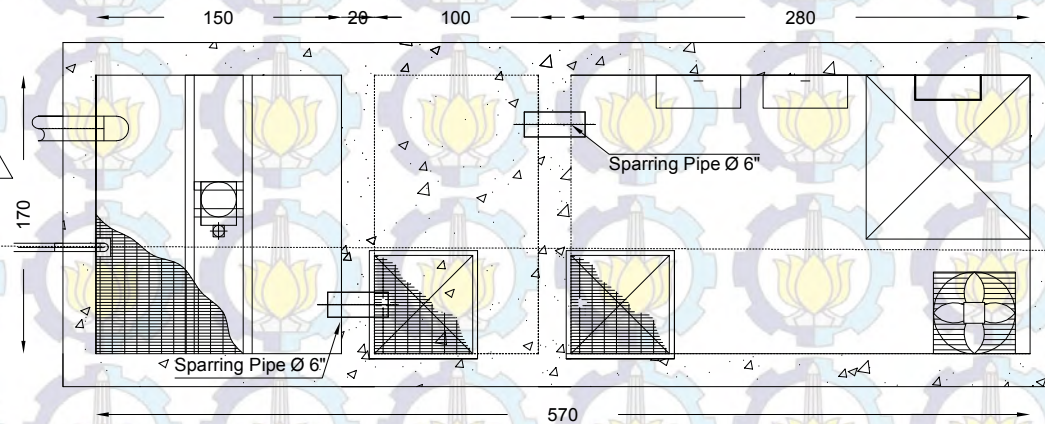
B7

APPROVED

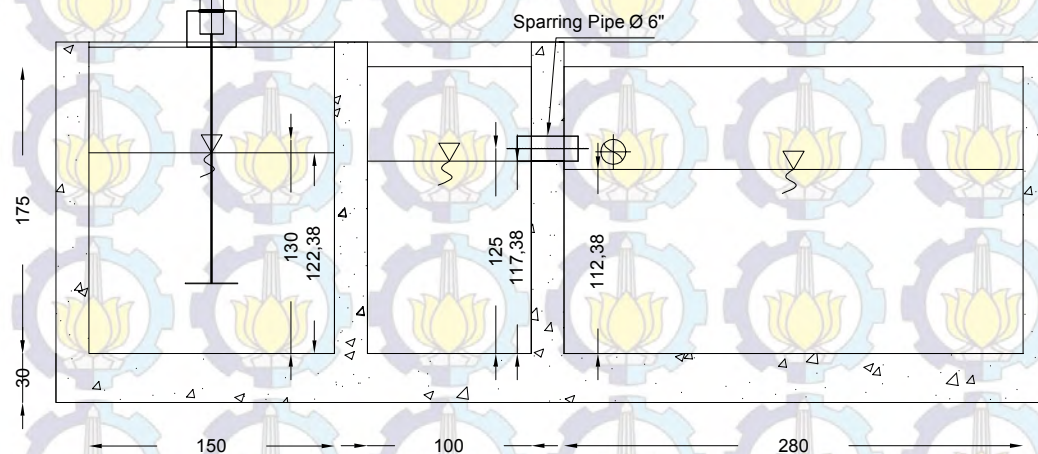
KODE GAMBAR

HALAMAN

MARK



Tampak Atas Bak Netralisasi



Potongan A-A' Bak Netralisasi

JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW DESAIN
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK
RUMAH SAKIT

JURUSAN

TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KETERANGAN

 **BETON**

NAMA MAHASISWA

IQBAL IBNU WARDANI
3311100032

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, M.Sc.
NIP. 19550128 198503 2 001

DOSEN Co-PEMBIMBING

Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T.
NIP. 19630705 199203 1 001

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS DAN POTONGAN BAK PENGENDAP

SKALA

1:40

NOMOR GAMBAR

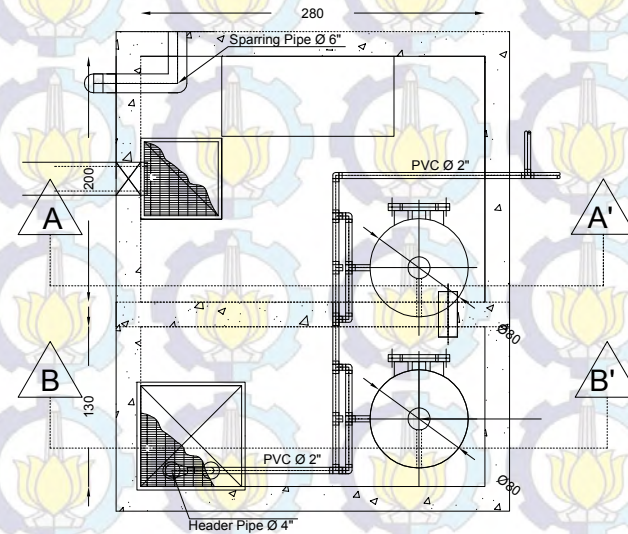
B8

APPROVED

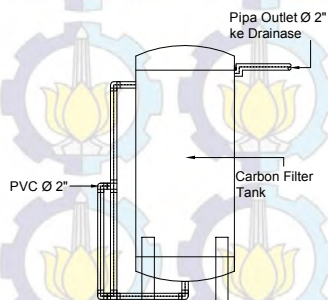
KODE GAMBAR

HALAMAN

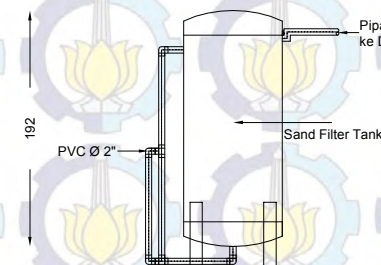
MARK



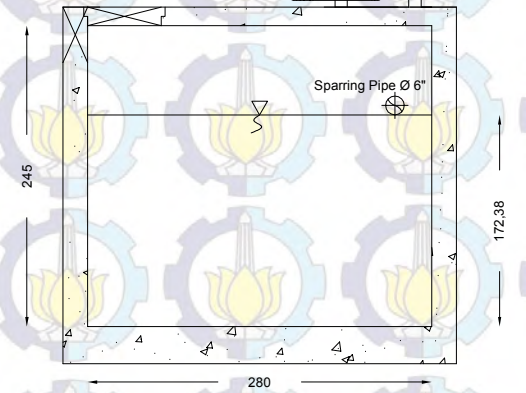
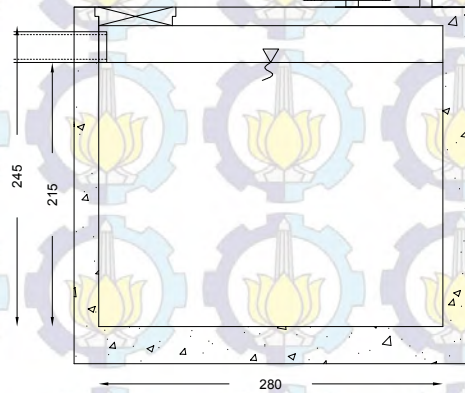
Tampak Atas Bak Pengendap



Potongan A-A' Bak Pengendap



Potongan B-B' Bak Pengendap






JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW DESAIN
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK
RUMAH SAKIT X

JURUSAN

TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KETERANGAN

-  PLESTERAN
-  GENTENG

DRAFTER

IQBAL IBNU WARDANI
3311100032

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, M.Sc.
NIP. 19550128 198503 2 001

DOSEN Co-PEMBIMBING

Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T.
19630705 199203 1 001

JUDUL GAMBAR

TAMPAK LUAR IPAL-TOKSIK
(DENGAN PENERAPAN REKOMENDASI)

SKALA

1:40

KODE GAMBAR

NOMOR GAMBAR

B9

HALAMAN

APPROVED

MARK

GEDUNG ARAFAH

Ke Arah Sungai

Pipa sadap PVC Ø1,5"

Dari Masjid

IPAL-TOKSIK

U

Pipa Discharge PVC Ø
1,5" (dari Bâk Netralisasi)

Filter Press

Pipa Filtrat PVC Ø 1,5"

Pipa Penambahan
Debit PVC Ø 1,5"

KANTIN

JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW DESAIN
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK
RUMAH SAKIT X

JURUSAN

TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KETERANGAN

BETON

DRAFTER

IQBAL IBNU WARDANI
3311100032

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, M.Sc.
NIP. 19550128 198503 2 001

DOSEN Co-PEMBIMBING

Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T.
19630705 199203 1 001

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS DAN POTONGAN BAK NETRALISASI
(DENGAN POMPA PENAMBAHAN DEBIT)

SKALA

1:40

KODE GAMBAR

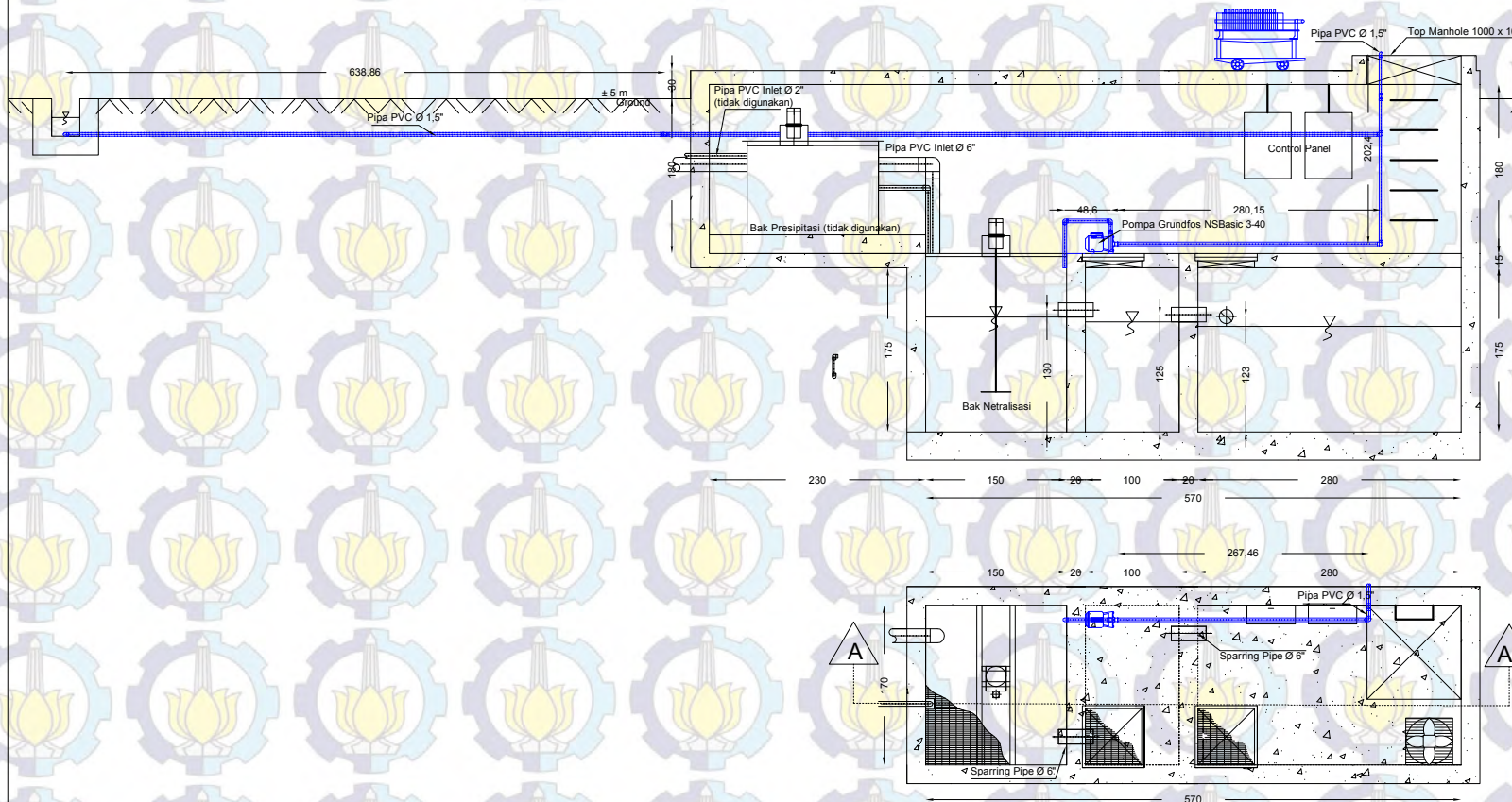
NOMOR GAMBAR

B10

HALAMAN

APPROVED

MARK



SKALA 1:40


JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW DESAIN
 INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK
 RUMAH SAKIT X

JURUSAN

TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

KETERANGAN

 **BETON**

DRAFTER

IQBAL IBNU WARDANI
 3311100032

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, M.Sc.
 NIP. 19550128 198503 2 001

DOSEN Co-PEMBIMBING

Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T.
 19630705 199203 1 001

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS DAN POTONGAN BAK NETRALISASI
 (DENGAN POMPA PENGURAS LUMPUR)

SKALA

KODE GAMBAR

1:40

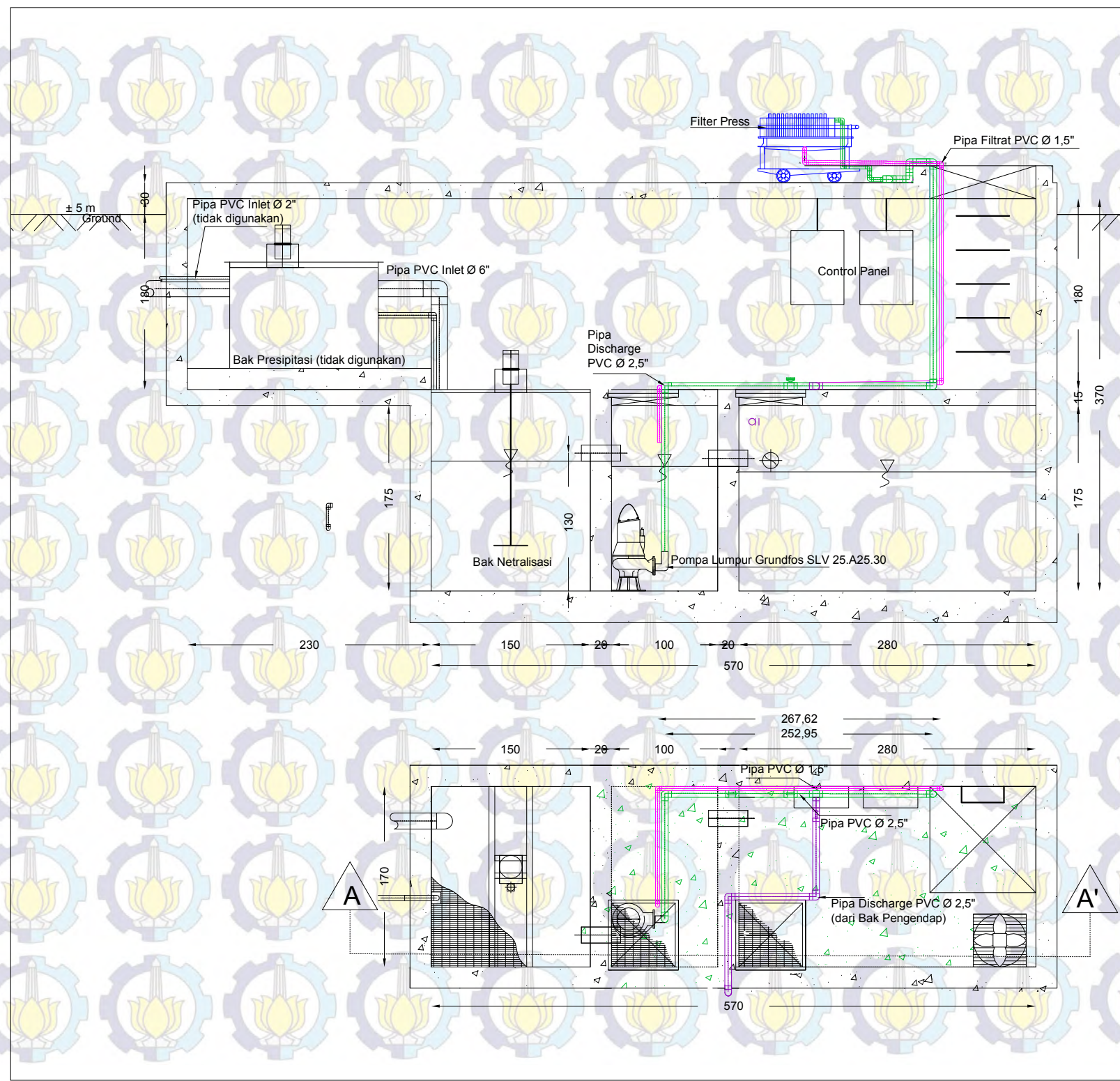
NOMOR GAMBAR

HALAMAN

B11

APPROVED

MARK




JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA DAN REVIEW DESAIN
 INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH-TOKSIK
 RUMAH SAKIT X

JURUSAN

TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA

KETERANGAN

 BETON

DRAFTER

IQBAL IBNU WARDANI
 3311100032

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. NIEKE KARNANINGROEM, M.Sc.
 NIP. 19550128 198503 2 001

DOSEN Co-PEMBIMBING

Ir. DIDIK BAMBANG S., M.T.
 19630705 199203 1 001

JUDUL GAMBAR

POTONGAN E-E' IPAL TOKSIK
 (DENGAN POMPA PENGURAS LUMPUR)

SKALA

1:40

KODE GAMBAR

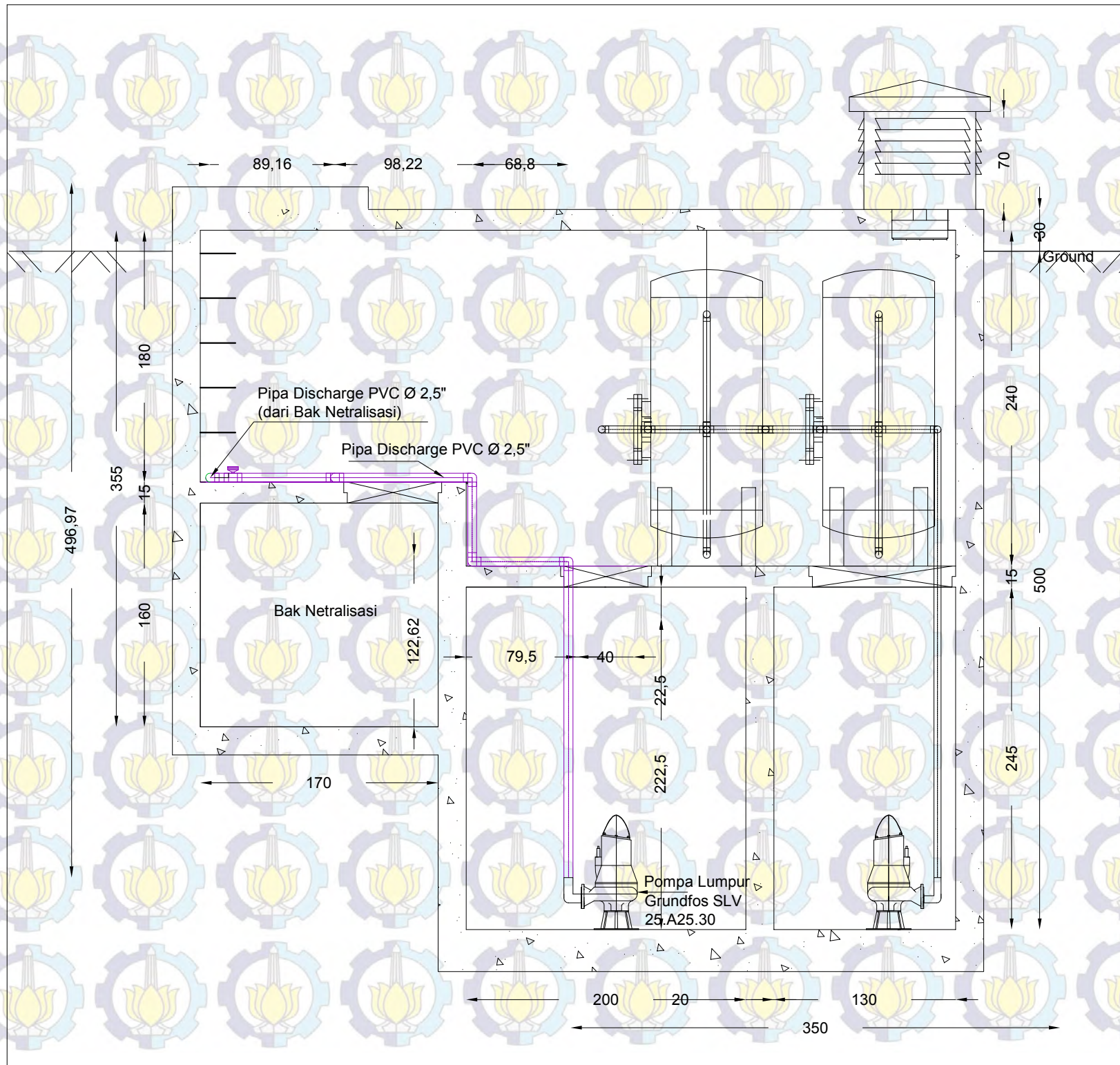
NOMOR GAMBAR

B12

HALAMAN

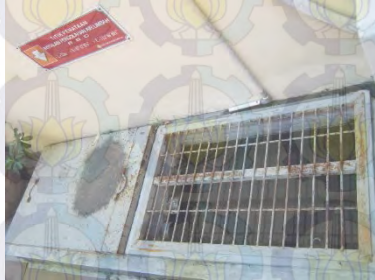
APPROVED

MARK



LAMPIRAN C

DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar C.1 Tampak Atas IPAL (kiri) dan Titik Pengambilan Sampel Outlet IPAL-Toksik (kanan)



Gambar C.2 *Sampling* (kiri) dan pemanasan COD (kanan)



Gambar C.3 Analisis BOD₅ (kiri) dan analisis PV (kanan)



Gambar C.4 Pengukuran PO_4^{3-} (kiri) dan $\text{NH}_3\text{-N}$ (kanan)



Gambar C.5 Media LB (kiri) dan cawan porselen untuk analisis TSS (kanan)



Gambar C.6 Analisis Total Coliform/100 ml air (kiri) dan persiapan analisis pH dan suhu (kanan)

LAMPIRAN D

HASIL ANALISIS LABORATORIUM

Tabel 1 Pengukuran Debit Harian

Pengukuran ke-	Debit Tercatat (m ³)	Debit Terolah (m ³)
I	42809,07	13,14
II	42883,21	74,14
III	42951,60	68,39
IV	43019,32	67,72
V	43071,68	26,18
VI	43084,82	13,14
	Rata-rata	43,78

Tabel 2 Pengukuran pH Tiap Titik

Pengukuran Ke-	Nilai pH				Baku Mutu
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
I	8,0	7,9	8,0	7,9	6-9
II	7,9	8,0	8,0	7,8	6-9
III	7,5	7,4	7,5	7,1	6-9
IV	7,5	7,4	7,5	7,1	6-9
V	8,0	7,8	7,7	8,2	6-9
VI	7,7	7,6	7,6	8,1	6-9
Rata-rata	7,7	7,7	7,7	7,7	

Tabel 3 Pengukuran Suhu Tiap Titik

Pengukuran Ke-	Suhu (°C)				Baku Mutu
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
I	27	27	27	27	30°C
II	25,1	25,1	25	25	30°C
III	25,5	25,5	25,5	25,5	30°C
IV	25,2	25,2	25	25	30°C
V	25	25	25	25	30°C
VI	25,6	25,6	25,6	25	30°C
Rata-rata	25,5	25,5	25,5	25,4	

Tabel 4 Konsentrasi TSS Tiap Titik

Pengukuran Ke-	Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
I	1012	248	164	101	30 mg/L
II	584	576	280	208	30 mg/L
III	116	116	88	68	30 mg/L
IV	344	276	204	156	30 mg/L
V	204	156	144	76	30 mg/L
VI	476	104	72	20	30 mg/L
Rata-rata	456	248	159	104,8	
Tidak memenuhi baku mutu					

Tabel 5 Konsentrasi COD Tiap Titik

Pengukuran Ke-	Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
I	220	220	180	180	80 mg/L
II	440	360	300	280	80 mg/L
III	280	260	240	240	80 mg/L
IV	220	200	160	120	80 mg/L
V	300	260	120	120	80 mg/L
VI	300	260	240	160	80 mg/L
Rata-rata	292	240	207	183,3	
Tidak memenuhi baku mutu					

Tabel 6 Konsentrasi BOD₅ Tiap Titik

Pengukuran Ke-	Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
I	144	105	105	83	30 mg/L
II	86	71	46	46	30 mg/L
III	304	212	178	178	30 mg/L
IV	231	187	186	178	30 mg/L
V	102	100	91	91	30 mg/L
VI	82	82	66	42	30 mg/L
Rata-rata	158	128	114	103	30 mg/L
Tidak memenuhi baku mutu					

Tabel 7 Konsentrasi NH₃-N bebas Tiap Titik

Pengukuran Ke-	Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
I	10,4	4,5	1,7	1,0	0,1 mg/L
II	9,9	8,5	7,9	2,6	0,1 mg/L
III	11,3	6,3	2,8	2,2	0,1 mg/L
IV	8,6	4,7	2,2	0,8	0,1 mg/L
V	1,5	1,2	0,8	0,8	0,1 mg/L
VI	6,9	1,2	0,8	0,8	0,1 mg/L
Rata-rata	8,1	4,4	2,7	1,4	0,1 mg/L
Tidak memenuhi baku mutu					

Tabel 8 Konsentrasi PO₄³⁻ Tiap Titik

Pengukuran Ke-	Konsentrasi (mg/L)				Baku mutu
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	
I	13,3	13,3	12,7	12,1	2 mg/L
II	10,9	8,6	8,3	6,3	2 mg/L
III	23,2	12,6	12,2	10,5	2 mg/L
IV	15,0	12,3	11,0	6,5	2 mg/L
V	8,3	8,3	8,3	7,3	2 mg/L
VI	9,1	7,8	7,7	6,1	2 mg/L
Rata-rata	13,4	10,5	10,0	8,1	2 mg/L
Tidak memenuhi baku mutu					

Tabel 9 Konsentrasi Total Coliform/100 ml Air Tiap Titik

Pengukuran Ke-	Total coliform		Baku mutu
	Inlet	Outlet	
I	1600000	240000	10000
II	1600000	900000	10000
III	1600000	500000	10000
IV	1600000	140000	10000
V	1600000	170000	10000
VI	1600000	140000	10000

Pengukuran Ke-	Total coliform		Baku mutu
	Inlet	Outlet	
Rata-rata	1600000	348333	

Tabel 9 Efisiensi Removal untuk Parameter TSS

Pengukuran Ke-	Efisiensi Removal (%)				
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	In-Out
I	-	74,3%	36,9%	38,4%	90,0%
II	-	1,4%	51,4%	25,7%	64,4%
III	-	0,0%	24,2%	22,7%	41,4%
IV	-	19,7%	26,1%	23,5%	54,6%
V	-	23,5%	7,7%	47,2%	62,7%
VI	-	23,5%	30,7%	72,2%	95,8%
Rata-rata	-	45,6%	36,0%	33,9%	77,0%

Tabel 10 Efisiensi removal untuk Parameter COD

Pengukuran Ke-	Efisiensi Removal (%)				
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	In-Out
I	-	0,0%	18,2%	0,0%	18,2%
II	-	18,2%	16,7%	6,7%	36,4%
III	-	7,1%	7,7%	0,0%	14,3%
IV	-	9,1%	20,0%	25,0%	45,5%
V	-	13,3%	53,8%	0,0%	60,0%
VI	-	13,3%	7,7%	33,3%	46,7%
Rata-rata	-	11,4%	20,5%	11,3%	37,5%

Tabel 11 Efisiensi removal untuk Parameter BOD₅

Pengukuran Ke-	Efisiensi Removal (%)				
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	In-Out
I	-	26,8%	0,0%	21,3%	42,7%
II	-	16,9%	35,7%	0,0%	46,6%
III	-	30,4%	15,9%	0,0%	41,4%
IV	-	19,0%	0,6%	4,2%	22,9%
V	-	0,0%	9,3%	0,0%	9,3%
VI	-	0,0%	19,2%	36,3%	48,6%
Rata-rata	-	20,0%	11,3%	8,1%	34,7%

Tabel 12 Efisiensi removal untuk Parameter NH₃-N Bebas

Pengukuran Ke-	Efisiensi Removal (%)				
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	In-Out
I	-	57,3%	61,8%	40,5%	90,3%
II	-	16,1%	5,5%	66,8%	73,7%
III	-	44,5%	54,7%	24,1%	80,9%
IV	-	45,5%	53,9%	63,8%	90,9%
V	-	15,6%	37,0%	0,0%	46,8%
VI	-	82,6%	37,0%	0,0%	88,8%
Rata-rata	-	46,1%	38,5%	49,7%	83,3%

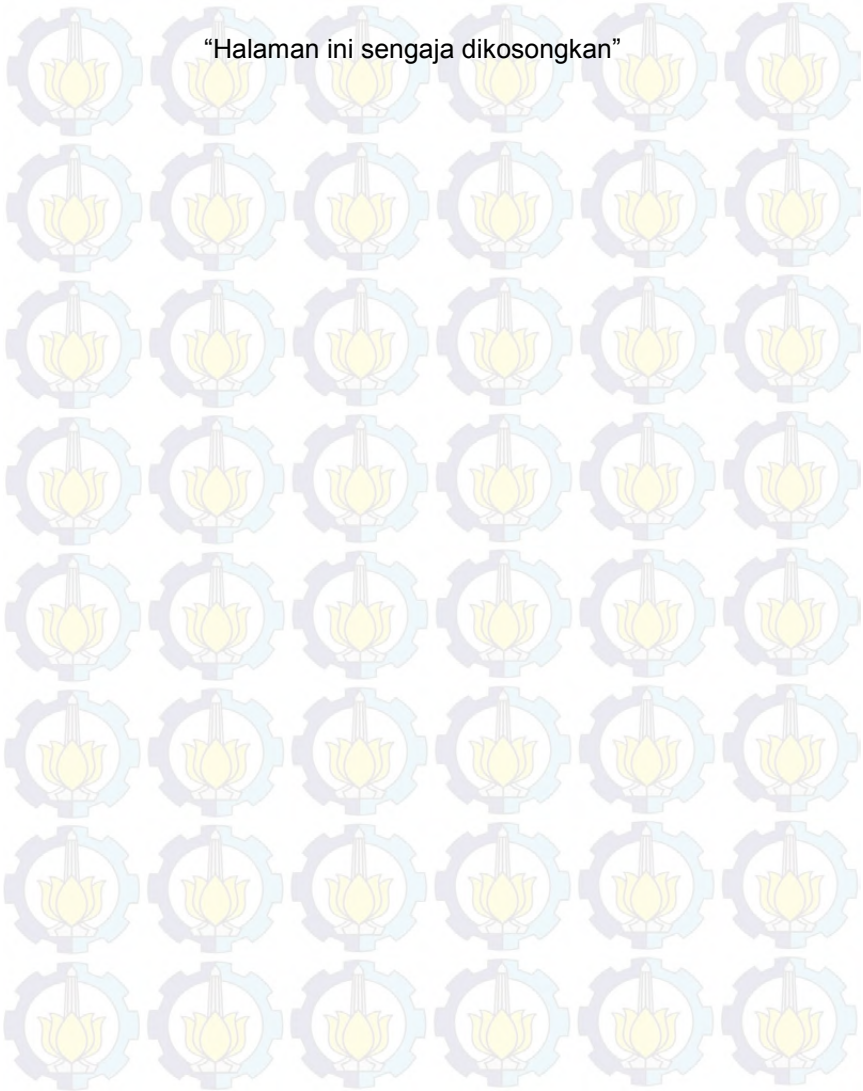
Tabel 13 Efisiensi removal untuk Parameter PO₄³⁻

Pengukuran Ke-	Efisiensi Removal (%)				
	Inlet	Inf RBC	Ef RBC	Outlet	In-Out
I	-	0,4%	3,7%	5,4%	9,3%
II	-	21,2%	4,6%	24,0%	42,9%
III	-	45,5%	3,5%	14,2%	54,8%
IV	-	18,1%	10,5%	40,9%	56,7%
V	-	0,0%	0,0%	12,5%	12,5%
VI	-	14,6%	1,3%	21,2%	33,6%
Rata-rata	-	21,3%	4,3%	19,2%	39,2%

Tabel 14 Efisiensi removal untuk Parameter Total Coliform/100 ml Air

Pengukuran ke-	Efisiensi Removal (%)
I	85,0%
II	43,8%
III	68,8%
IV	91,3%
V	89,4%
VI	91,3%
Rata-rata	78,2%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



	KETERANGAN	SATUAN	QTY
Welded Tank	NATIONAL ex Jiprah afasi tefalor	Unit	2
Size	High Pressure Industrial Tank		
Type	3410 m ³ /jam		
Capacity	Approx. 0.141LW/1mh/220V/50Hz		
Power		Unit	2
Material	FRUPIS		
Size	1/2 x 40, Weather Proof simature	Unit	1
Material	ENVIRO		
Capacity	10 m ³ /jam		
Dimensi	Dia. 800 x H. 1300 (mm)		
Working Pressure	4 bar		
Material	Mild steel SS400		
Finishing	Sandblasting, Primer Coating & Finish Epoxy Coating		
Control	Manual		
Langka design	Front Piping Pressure gauge Ball Valve Gravel & Silica Media		
Material Carbon Steel		Unit	1
Capacity	ENVIRO		
Dimensi	10 m ³ /jam		
Working Pressure	1 bar, 800 x H. 1300 (mm)		
Material	4 bar		
Finishing	Mild steel SS400		
Control	Sandblasting, Primer Coating & Finish Epoxy Coating		
Langka design	Manual Front Piping Pressure gauge Ball Valve Activated Carbon Media, Lamp ex Jendag		
Material & Control		ts	1
Capacity	(TIA, ENVIRO lokal manufacturer)		
Working Pressure	Standard Outlet		
Material	Indonesia, JAG, GE, etc		
Control	Manual/semi/otomatis + single otomata Otomasi		
Langka design	Automatic on-off berdasarkan level switch (float) di tank effluent		
Material	Manual/Automatic Otomasi		
Capacity	Manual On-Off		
Working Pressure	Manual/Automatic berdasarkan effluent pump spare part		
Material	Manual/Automatic Otomasi		
Langka design	Manual/Automatic Otomasi		
Capacity	Manual/Automatic Otomasi		
Working Pressure	Manual/Automatic Otomasi		
Material	Manual/Automatic Otomasi		
Langka design	Manual/Automatic Otomasi		

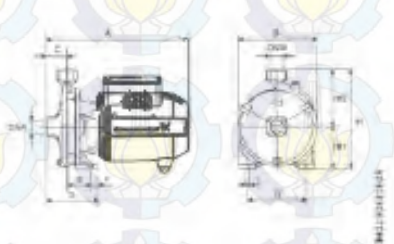
NSBasic

Technical data

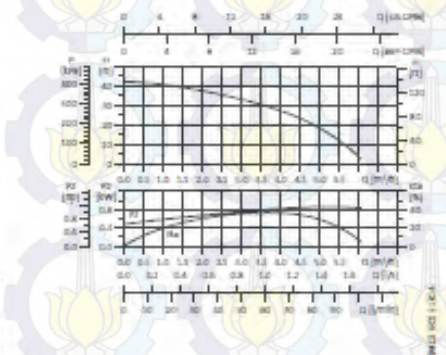
Technical data

- Operating range:** From 1.5 to 10.8 m³/h with head up to 60 metres.
- Liquid quality requirements:** clean, free from solids or abrasive substances, non viscous, non aggressive, non crystallized, chemically neutral, close to the characteristics of water.
- Liquid temperature range:** NSBasic 3-40, NSBasic 5-50, NSBasic 6-30, NSBasic 6-40: from -10°C to +50°C
NSBasic 5-60: from -15°C to +110°C
- Maximum ambient temperature:** +40°C
- Maximum operating pressure:** NSBasic 3-40, NSBasic 5-50, NSBasic 6-30, NSBasic 6-40: 6 bar (600 kPa)
NSBasic 5-50, NSBasic 5-60: 8 bar (800 kPa)
- Installation:** Fixed in a horizontal or vertical position, as long as the motor is above the pump.
- Special versions on request:** Other voltages and/or frequencies.
- The performance curves are based on the kinematic viscosity values = 1 mm²/s and density equal to 1000 kg/m³.
Curve tolerance according to ISO 9906, Annex A.

NSBasic 3-40



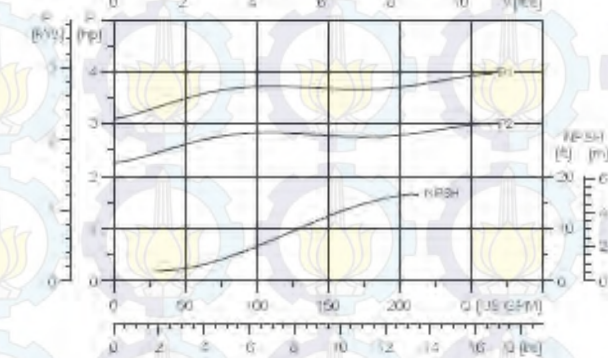
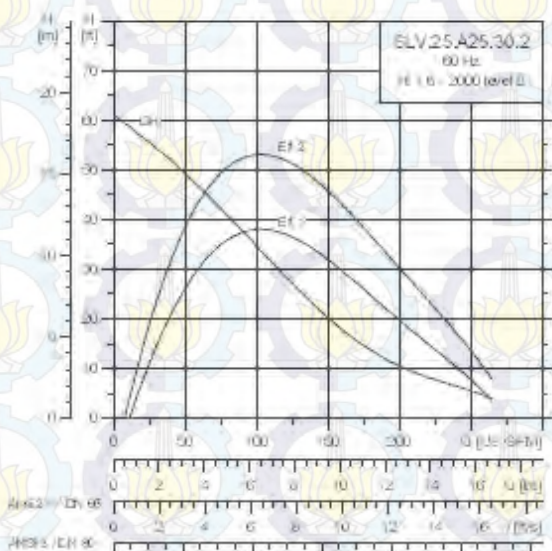
Pump type	Voltage [V]	Electrical data				Capacitor
		P ₁ Max. [kW]	P ₂ [kW]	P ₃ [W]	I _n [A]	
NSBasic 3-40	bc(220-240)	1.2	0.75	1	1.5	20 450
NSBasic 3-40	bc(220-240)/280-415	1.2	0.75	1	1.8/2.2	-



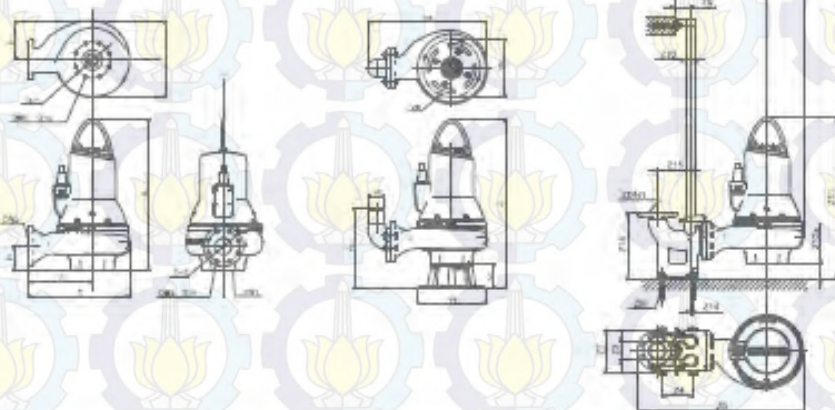
Pump type	Dimensions [mm]											Packing dimensions [mm]			Vol. [m ³]	Weight [kg]		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	DNA	DNB	L/A			L/B	L/H
NSBasic 3-40	142	180	76	148	72	75	148	7.5	275	200	135	Ep1	Ep1	897	232	262	0.024	16.1

SLV.25.A25

Performance curves: SLV.25.A25.30



Dimensional sketches: SLV.25.A25.30



	A	C	D	E	F	H	DN1	Dc1	DN2	D1n	DN2	Dc2	D2	D2n	Weight [lb/kg]		
[inch]	25.9	15.8	5.7	9.7	12.6	4	3	6	9xM16	2.5	5.5	4 x 0.75	190.8				
[mm]	654	399	171	248	321	102	80	152.4	9xM16	65	139.7	4 x 19.1	88.4				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12a	Z14	Z15	Z16	ZDN1	ZM
[inch]	8.3	3.7	5.5	28.7	21.4	18.5	3.2	1.5	29.4	0.03	0.040	6.9	10.5	2.5	4xM16		
[mm]	210	95	140	730	543	394	81	1.5	747	64	1	175	268	65	4xM16		
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8									
[inch]	32	14.7	5	12.500	11	20.6	2.6	0.7									
[mm]	812	372	128	330	280	524	65	18									

Electrical data

Pump type	Voltage [V]	P1 [hp] (kW)	P2 [hp] (kW)	No of poles	RPM	Starting method	I _{sc} [A]						Cos φ	SF	Moment of inertia [kgm ²]	Breakdown torque M _{max} [lb·ft] (Nm)	
							1/2	3/4	1/1	1/2	3/4	1/1					
SLV.25.A25.302.81L	3x208-230V D-480V Y	3.9 (2.9)	3 (2.2)	2	3450	SD	8.9	88.7	67.7	72.8	74.3	0.85	0.89	0.91	1.15	0.13 (0.0054)	14.01 (19)
SLV.25.A25.302.81H	3x480V D	3.9 (2.9)	3 (2.2)	2	3520	SD	4.3	44.0	66.7	73.3	75.1	0.77	0.85	0.88	1.15	0.13 (0.0054)	18.44 (25)
SLV.25.A25.302.81L	3x575V D	3.9 (2.9)	3 (2.2)	2	3510	SD	3.2	32.1	67.7	73	75.8	0.81	0.87	0.88	1.15	0.13 (0.0054)	18.06 (23)

Pump data

Impeller type	Max. solids size [inch / mm]	Pump housing pressure [PN]	Max. number of starts per hour	Max. installed depth [feet / m]	Enclosure class	Insulation class	Temperature rise class	Max. liquid temperature [°F / °C]	pH
SuperVortex	2.5 / 65	10	20	65 / 20	(IP55)	F	A	104 / 40	4-14



SALINAN

WALIKOTA SURABAYA

PERATURAN WALIKOTA SURABAYA NOMOR 55 TAHUN 2005

TENTANG

TARIF AIR MINUM DAN STRUKTUR PEMAKAIAN AIR MINUM PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM KOTA SURABAYA

WALIKOTA SURABAYA

Menimbang

a. bahwa dalam rangka menjamin kelancaran operasional dan meningkatkan kontinuitas pelayanan air minum kepada masyarakat Kota Surabaya dan sekitarnya diperlukan adanya peningkatan jumlah produksi serta perluasan/rehabilitasi jaringan pipa distribusi secara terarah dan berkesinambungan sesuai dengan program dan kebijaksanaan pembangunan Pemerintah Daerah;

b. bahwa berkaitan dengan hal tersebut diatas serta dalam rangka peningkatan dan pemerataan pelayanan air minum kepada masyarakat secara profesional dan berkesinambungan maka Keputusan Walikotamadya Kepala Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 690/1653/402.07.01/2000 tentang Penetapan Tarif Air Minum dan Struktur Pemakaian Air Minum Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya sebagaimana telah diubah dengan Keputusan Walikotamadya Kepala Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 690/1846/402.07.01/2000 perlu ditinjau kembali;

b. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b serta berdasarkan Surat Ketua Dewan Perwakilan Rakyat Daerah Kota Surabaya Nomor 690/710/438.3/2005 tanggal 25 Oktober 2005 tentang Penyesuaian Tarif Air Minum Kelompok Pelanggan dan Blok Pemakaian Air Minum, maka perlu menetapkan Peraturan Walikota tentang Tarif Air Minum dan Struktur Pemakaian Air Minum Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya.

Mengingat

1. Undang-Undang Nomor 18 Tahun 1950 tentang Pembentukan Daerah Kota Besar dalam Lingkungan Propinsi Jawa Timur / Jawa Tengah / Jawa Barat dan Daerah Istimewa Yogyakarta, sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1965 (Lembaran Negara Tahun 1965 Nomor 18, Tambahan Lembaran Negara Nomor 2730);

2. Undang-Undang Nomor 10 Tahun 2004 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan (Lembaran Negara Tahun 2004 Nomor 53, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4389);

3. Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah (Lembaran Negara Tahun 2004 Nomor 125, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4437) sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 8 Tahun 2005 (Lembaran Negara Tahun 2005 Nomor 108, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4548) ;
4. Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 1 Tahun 1984 tentang Tata Cara Pembinaan dan Pengawasan Perusahaan Daerah di Lingkungan Pemerintah Daerah ;
5. Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 2 Tahun 1998 tentang Pedoman Penetapan Tarip Air Minum ;
6. Peraturan Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 19 Tahun 1978 tentang Penetapan Jumlah Modal Perusahaan Daerah Air Minum Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya (Lembaran Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Tahun 1978 Nomor 1/C);
7. Peraturan Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 7 Tahun 1976 tentang Perusahaan Daerah Air Minum (Lembaran Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Tahun 1976 Nomor 1/C)sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 14 Tahun 1986 (Lembaran Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Tahun 1987 Nomor 1/C) ;
8. Peraturan Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 15 Tahun 1986 tentang Ketentuan Pokok Badan Pengawas, Direksi dan Kepegawaian Perusahaan Daerah Air Minum Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya (Lembaran Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Tahun 1987 Sen C tanggal 5 Maret 1987 Nomor 5) ;
9. Peraturan Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 13 Tahun 1993 tentang Pengelolaan Air Minum di Wilayah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya (Lembaran Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II Surabaya Tahun 1994 Nomor 12/C).

MEMUTUSKAN :

Menetapkan : **PERATURAN WALIKOTA TENTANG TARIP AIR MINUM DAN STRUKTUR PEMAKAIAN AIR MINUM PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM KOTA SURABAYA**

**BAB I
KETENTUAN UMUM**

Pasal 1

Dalam Peraturan Walikota ini yang dimaksud dengan :

1. Pemerintah Daerah adalah Pemerintah Kota Surabaya .

2. Perusahaan Daerah Air Minum untuk selanjutnya disingkat PDAM adalah Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya .
3. Direksi adalah Direksi Perusahaan Daerah Air Minum yang terdiri dari Direktur Utama dibantu oleh Direktur Produksi, Direktur Distribusi dan Direktur Keuangan .
4. Pelanggan adalah Pelanggan air minum Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya .
5. Tarif adalah harga dalam rupiah yang harus dibayar oleh pelanggan PDAM untuk setiap pemakaian m^3 air bersih yang disalurkan oleh PDAM.

BAB II TARIF AIR MINUM DAN STRUKTUR PEMAKAIAN AIR MINUM

Pasal 2

Dengan Peraturan Walikota ini ditetapkan tarif air minum dan struktur pemakaian air minum PDAM .

Pasal 3

Tarif sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 adalah sebagai berikut :

- a. Kelompok pelanggan sosial umum dari kode tarif 11 menjadi kode tarif 1 dengan tarif sebesar Rp 600,-/ m^3 untuk semua tingkat pemakaian (non progresif) .
- b. Kelompok pelanggan rumah sangat sederhana dan sosial khusus dari kode tarif 21 dan 22 menjadi kode tarif 2A adalah :
 1. 0 sampai dengan 10 m^3 dengan tarif sebesar Rp 350,-/ m^3 ;
 2. 11 m^3 sampai dengan 20 m^3 dengan tarif sebesar Rp 600,-/ m^3 ;
 3. 21 m^3 sampai dengan 30 m^3 dengan tarif sebesar Rp 900,-/ m^3 ;
 4. lebih dari 30 m^3 dengan tarif sebesar Rp 1.800,-/ m^3 .
- c. Kelompok pelanggan Layanan Kesehatan Pemerintah dari kode tarif 23 menjadi kode tarif 2B adalah :
 1. 0 sampai dengan 10 m^3 dengan tarif sebesar Rp 500 / m^3 ;

2. 11 m³ sampai dengan 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 1.000,-/ m³ ;
 3. lebih dari 20 m³ sampai dengan 30 m³ dengan tarif sebesar Rp 2.250,-/ m³ .
- d. Kelompok pelanggan rumah sederhana dari kode tarif 31 menjadi kode tarif 3A adalah :
1. 0 sampai dengan 10 m³ dengan tarif sebesar Rp 500,-/ m³ ;
 2. 11 m³ sampai dengan 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 1.200,-/ m³ ;
 3. lebih dari 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 1.900,-/ m³ .
- e. Kelompok pelanggan usaha kecil dan industri kecil dari kode tarif 32a, 32 c dan 33 menjadi kode tarif 3B adalah :
1. 0 sampai dengan 10 m³ dengan tarif sebesar Rp 1.500,-/ m³ ;
 2. 11 m³ sampai dengan 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 3.500,-/ m³ ;
 3. lebih dari 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 6.000,-/ m³ .
- f. Kelompok pelanggan kegiatan massal mandiri dari kode tarif 32 dan 32b menjadi kode tarif 3C adalah :
1. 0 sampai dengan 10 m³ dengan tarif sebesar Rp 2.300,-/ m³ ;
 2. 11 m³ sampai dengan 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 4.000,-/ m³ ;
 3. lebih dari 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 5.500,-/ m³ .
- g. Kelompok pelanggan rumah menengah dari kode tarif 42 menjadi kode tarif 4A dengan tarif adalah :
1. 0 sampai dengan 10 m³ dengan tarif sebesar Rp 1.000,-/ m³ ;
 2. 11 m³ sampai dengan 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 1.500,-/ m³ ;
 3. lebih dari 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 2.500,-/ m³ .
- h. Kelompok pelanggan kantor Pemerintah / Asing dan rumah besar mewah dari kode tarif 34 dan 41 menjadi kode tarif 4B adalah :
1. 0 sampai dengan 10 m³ dengan tarif sebesar Rp 1.500,-/ m³ ;

2. 11 m³ sampai dengan 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 2.200,-/ m³ ;

3. lebih dari 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 3.500,-/ m³ .

i. Kelompok pelanggan industri besar dari kode tarif 44 menjadi kode tarif 4C adalah :

1. 0 sampai dengan 10 m³ dengan tarif sebesar Rp 4.000,-/ m³ ;

2. 11 m³ sampai dengan 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 6.000,-/ m³ ;

3. lebih dari 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 7.500,-/ m³ .

j. Kelompok pelanggan usaha besar dari kode tarif 43 menjadi kode tarif 4D adalah :

1. 0 sampai dengan 10 m³ dengan tarif sebesar Rp 6.000,-/ m³ ;

2. 11 m³ sampai dengan 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 8.000,-/ m³ ;

3. lebih dari 20 m³ dengan tarif sebesar Rp 9.500,-/ m³ .

k. Kelompok pelanggan pelabuhan udara dan laut dari kode tarif 51 dan 52 menjadi kode tarif 5 dengan tarif sebesar Rp 10.000,-/ m³ untuk semua tingkat pemakaian (non progresif) .

l. Pemakaian minimal untuk semua Kelompok Pelanggan ditetapkan sebesar 10 m³

m. Kelompok pelanggan khusus (PDAM lain) tarif yang berlaku sesuai kesepakatan antar PDAM.

Pasal 4

(1) PDAM dapat melakukan perubahan dasar variable lebar jalan guna penghitungan perubahan tarif paling sedikit 2 tahun .

(2) Perubahan dasar variable sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dengan menggunakan :

- a. Klasifikasi jalan di depan persil pelanggan ;
- b. Nilai Jual Obyek Pajak (NJOP) ;
- c. Pemakaian listrik (daya listrik terpasang).

Pasal 5

PDAM dapat melakukan perubahan tarif secara otomatis setiap 1 (satu) tahun sekali, dengan mempertimbangkan :

- a. Laju pertumbuhan inflasi Kota Surabaya yang dikeluarkan setiap tahun oleh sumber terpercaya/ Pemerintah Daerah sekurang-kurangnya 10% (sepuluh persen).
- b. Apabila Inflasi 1 (satu) tahun yang dilaporkan sumber terpercaya/Pemerintah Daerah diatas 10% (sepuluh persen) maka PDAM mengikuti angka resmi yang dikeluarkan oleh Pemerintah Daerah.

Pasal 6

Ketentuan tentang besarnya biaya keterlambatan pembayaran rekening, biaya pemasangan baru, biaya pemeliharaan meter, denda pelanggaran, dan biaya lainnya akan ditetapkan lebih lanjut dengan Keputusan Direksi.

**BAB III
KETENTUAN PENUTUP****Pasal 7**

Pada saat Peraturan Walikota ini berlaku maka Keputusan Walikotaamadya Kepala Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 600/1653/402.07.01/2000 tentang Penetapan Tarif Air Minum dan Struktur Pemakaian Air Minum Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya sebagaimana telah diubah dengan Keputusan Walikotaamadya Kepala Daerah Tingkat II Surabaya Nomor 600/1346/402.07.01/2000, dicabut dan tidak berlaku lagi.

Pasal 8

Peraturan Walikota ini mulai berlaku pada tanggal diundangkan dan dilaksanakan mulai Januari 2006.

Agar setiap orang mengetahuinya memerintahkan pengundangan Peraturan Walikota ini dengan penempatannya dalam Berita Daerah Kota Surabaya.

Ditapkan di Surabaya
pada tanggal 29 Nopember 2005

WALIKOTA SURABAYA,

tttd

BAMBANG DWI HARTONO

Diundangkan di Surabaya
pada tanggal 29 Nopember 2005

SEKRETARIS DAERAH KOTA SURABAYA,

tttd

SUKAMTO HADI

BERITA DAERAH KOTA SURABAYA TAHUN 2005 NOMOR 41/E

Salinan sesuai dengan aslinya
a.n. SEKRETARIS DAERAH KOTA SURABAYA
KEPALA BAGIAN HUKUM,

HADISISWANTO ANWAR

LAMPIRAN I
PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 31 TAHUN 2014

TENTANG
TARIF TENAGA LISTRIK YANG DISEDIAKAN OLEH
PERUSAHAAN PERSEROAN (PERSERO) PT PERUSAHAAN
LISTRIK NEGARA

TARIF TENAGA LISTRIK UNTUK KEPERLUAN PELAYANAN SOSIAL

NO.	DOL. TARIF	BATAS DAYA	BIAYA BILAN (Rp/kVA/bulan)	RESOLVER	
				BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVA/Arh (Rp/kVA.b)	PRA BAYAR (Rp/kWh)
1.	S-1/TR	220 VA		Abonemen per bulan (Rp)	14.800
2.	S-2/TR	450 VA	10.000	Blok I di s.d. 30 kWh	123
				Blok II di atas 30 kWh s.d. 60 kWh	265
				Blok III di atas 60 kWh	360
3.	S-2/TR	900 VA	15.000	Blok I di s.d. 30 kWh	200
				Blok II di atas 30 kWh s.d. 60 kWh	295
				Blok III di atas 60 kWh	360
4.	S-2/TR	1.300 VA		708	708
5.	S-2/TR	2.200 VA		760	760
6.	S-2/TR	3.300 VA 9,4 200 kVA		900	900
7.	S-3/TM	di atas 200 kVA	**	Blok WBP = $K \times P \times 735$ Blok LWBP = $P \times 735$ kVAArh = 925 ***	

Contoh:

* Diterapkan Relating Minimum (RM)
 $RM1 = 40 \text{ (Luar Nyalai) } \times \text{ Daya Bersambung (kVA) } \times \text{ Biaya Pemakaian}$
 $RM2 = 40 \text{ (Luar Nyalai) } \times \text{ Daya Bersambung (kVA) } \times \text{ Biaya Pemakaian Blok LWBP}$
 dan biaya kWh per bulan dibagi dengan kVA bersambung.

** Biaya kelebihan pemakaian daya hasil dari kVAArh dikenakan dengan tarif faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K = Faktor perbandingan antara biaya WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem pelanggan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), diterapkan oleh Direktur Perusahaan Perseoran (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

P = Faktor pengali untuk pembebanan antara S-3 bersosial rumah dengan S-3 bersosial komersial.

Untuk pelanggan S-3 yang bersosial rumah: $P = 1$.

Untuk pelanggan S-3 yang bersosial komersial: $P = 1,3$.

Kategori S-3 bersosial rumah dan S-3 bersosial komersial ditetapkan oleh Direktur Perusahaan Perseoran (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara dengan mempertimbangkan kemampuan bayar dan sifat usahanya.

WBP = Waktu Berjalan Puncak

LWBP = Dasar Waktu Beban Puncak

MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
REPUBLIK INDONESIA,

titd.

SUDIRMAN SAID

Salinan sesuai dengan aslinya
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
Kepala Biro Hukum,

Susyanto



DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. E., dan Sudarmaji. 2012. "Efektivitas Sistem Pengolahan Limbah Cair dan Keluhan Kesehatan Pada Petugas di RSUD. Dr. M. Soewandhie Surabaya". **GDLHUB 1**, no. 112: 82-89.
- Anonim. 2005. **Peraturan Walikota Surabaya Nomor 55 Tahun 2005 tentang Tarip Air Minum dan Struktur Pemakaian Air Minum Perusahaan Daerah Air Minum Kota Surabaya.**
- Anonim. 2013. **Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.**
- Anonim. 2014. **Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2014 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan Oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT. Perusahaan Listrik Negara.**
- Benefield, D., L., and C. W. Randall. 1980. **Biological Process Design for Wastewater Treatment.** Englewood Cliff: Prentice-Hall, Inc.
- Brown, N. J. 1997. **Health Hazard Manual: Wastewater Treatment Plant and Sewer Workers.** Cornell University, Chemical Hazard Information Program: Ithaca, NY.
- Cortez, S., P. Teixeira, R. Oliveira, and M. Mota. 2008. "Rotating Biological Contactors: A Review on Main Factors Affecting Performance". **Rev Environ Sci Biotechnol 7**: 155-172.
- Deblonde, T., C. Cossu-Leguille, and P. Hartemann. 2011. "Emerging Pollutants in Wastewater: A Review of the Literature". **International Journal of Hygiene and Environmental Health**: 442-448.
- Demetrios, N. H., D. M. Ioannis, and G. G. Sotirios. 2004. "Organic and Nitrogen Removal in a Two-stage Rotating Biological

Contacting Treating Municipal Wastewater". **Bioresource Technology** 93: 91-98.

Eaton, A. D., L. S. Clesceri, and A. E. Greenberg. 2009. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 20th Edition. **APHA, AWWA, WEF**.

Ebrahimi, A., M. Asadi, and G. D. Najafpour. 2009. "Dairy Wastewater Treatment Using Three-Stage Rotating Biological Contactor (RBC)". **IJE Transactions B: Application 2**: 107-114.

Enviro Waste & Water Treatment. 2007. **Sistem Pengolahan Limbah Cair RS Haji – Surabaya**, Bekasi: Enviro Waste & Water Treatment

Escher, B. I., R. Baumgartner, M. Koller, K. Treyer, J. Lienert, and C. S. McArdeell. 2010. "Environmental Toxicology and Risk Assessment of Pharmaceuticals from Hospital Wastewater". **Water Research**: 75-92.

Fair, G. M., J. C. Geyer, D. A. Okun. 1981. **Water and Wastewater Engineering**. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Goel, R. K., J. R. V. Flora, and J. P. Chen. 2005. **Physicochemical Treatment Processes**. Totowa: The Humana Press.

Kolibu, F. K., dan F. B. Tawal. 2001. "Kualitas Limbah Cair Rumah Sakit GMIM Bethesda Tomohon". **Jurnal Kesehatan Masyarakat FKM Universitas Sam Ratulangi** 02, 21: 6-10.

Korzeniewska, E, A. Korzeniewska, and M. Harnisz. 2013. "Antibiotic Resistant Escherichia coli in Hospital and Municipal Sewage and Their Emission to the Environment". **Ecotoxicology and Environmental Safety**: 96-102.

Landrum, V. J., R. G. Barton, R. Neulicht, M. Turner, D. Wallace, and S. Smith. 1991. **Medical Waste Management and**

Disposal. Park Ridge, New Jersey: Noyes Data Corporation.

Lembaga Pengadaan Secara Elektronik. 2015. **Harga Satuan Pokok Kegiatan 2015 Kota Surabaya.** Surabaya.

Lin, S. D. 1999. **Handbook of Environmental Engineering Calculations.** New York City: McGraw Hill Higher Education.

Mahvi, A., A. Rajabizadeh, A. Fatehizadeh, N. Yousefi, H. Hosseini, and M. Ahmadian. 2009. "Survey Wastewater Treatment Condition and Effluent Quality of Kerman Province Hospitals". **World Applied Sciences Journal 7** (12): 1521-1525.

Manan, Z. A., S. R. Wan-Alwi., and Z. Ujang. 2006. "Water Pinch Ananlysis for an U rban System: A Case Study on The Sultan Ismail Mosque at the Universiti Teknologi Malaysia (UTM)". **Desalination** no. 194: 52-68.

Mellen, R. C. dan W. J. Pudjirahardjo. 2013. "Faktor Penyebab dan Kerugian Akibat Stockout dan Stagnant Obat di Unit Logistik RSUD Haji Surabaya". **Jurnal Administrasi Kesehatan Indonesia**, no 1: 99-107.

Najafpour, G. D., A. A. L. Zinatizadeh, and L. K. Lee. 2006. "Performance of A Three-Stage Aerobic RBC Reactor in Food Canning Wastewater Treatment". **Biochemical Engineering Journal** no. 30: 297-302.

Oliveira S. C. and M. von Sperling. 2011. "Performance Evaluation of Different Wastewater Treatment Technologies Operating in A Developing Country". **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development** no. 01.1: 37-56.

Patwardhan, A. W. 2003 "Rotating Biological Contactor: A Review". **Ind. Eng. Chem. Res** no 42: 2035-2051.

- Pujiati, R. S. 2006. "Upaya Peningkatan Pengelolaan Limbah Padat Berdasarkan Hasil Evaluasi Penerapan Protap (Studi Kasus Pengelolaan Limbah Padat Rumah Sakit)". **Jurnal IKESMA 2,1**: 20-29
- Pusat Sarana, Prasarana, dan Peralatan Kesehatan. 2010. **Seri Perencanaan: Pedoman Teknis Sarana dan Prasarana Rumah Sakit Kelas B**. Jakarta: Kementerian Kesehatan.
- Qasim, S. R. 1985. **Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation, 2nd**. New York: CRC Press.
- Rahmawati, A. A., dan R. Azizah. 2005. "Perbedaan Kadar BOD, COD, TSS dan MPN Coliform Pada Air Limbah, Sebelum dan Sesudah Pengolahan di RSUD Nganjuk". **Jurnal Kesehatan Lingkungan 2**, no. 1: 97-110.
- Rodgers, M and Zhan, X.M. 2003. "Moving-medium Biofilm Reactors". **Rev Environ Sci Biotechnol 2**:213-224.
- Rutala, W. A, Weber, D. J., and HICPAC. 2008. **Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities, 2008**. Chapel Hill: CDC.
- Said, N. I. 2005. "Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Reaktor Biologis Putar (*Rotating Biological Contactor*) dan Parameter Desain". **Jurnal Akuakultur Indonesia 1**, no. 2: 178-188.
- Schoneker, D. R. 2013. "Coloring Agents for Use in Pharmaceuticals". **Encyclopedia of Pharmaceutical Science and Technology 1**, no. 4: 541-562.
- Sponza, D. T., and P. Demirden. 2010. "Relationships Between Chemical Oxygen Demand (COD) Components and Toxicity in a Sequential Anaerobic Baffled Reactor/Aerobic Completely Stirred Reactor System Treating Kemicetine". **Journal of Hazardous Materials**: 64-75.
- Suparmadja, A. 2014. **Thesis: Analisis Resiko dan Optimasi Kinerja IPAL Rumah Sakit Menggunakan Metode Fault**

Tree Analysis. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya

Suprihatin, dan N. S. Indrasti. 2010. "Penyisihan Logam Berat dari Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi". **Makara, Sains 14**, no. 1: 44-50.

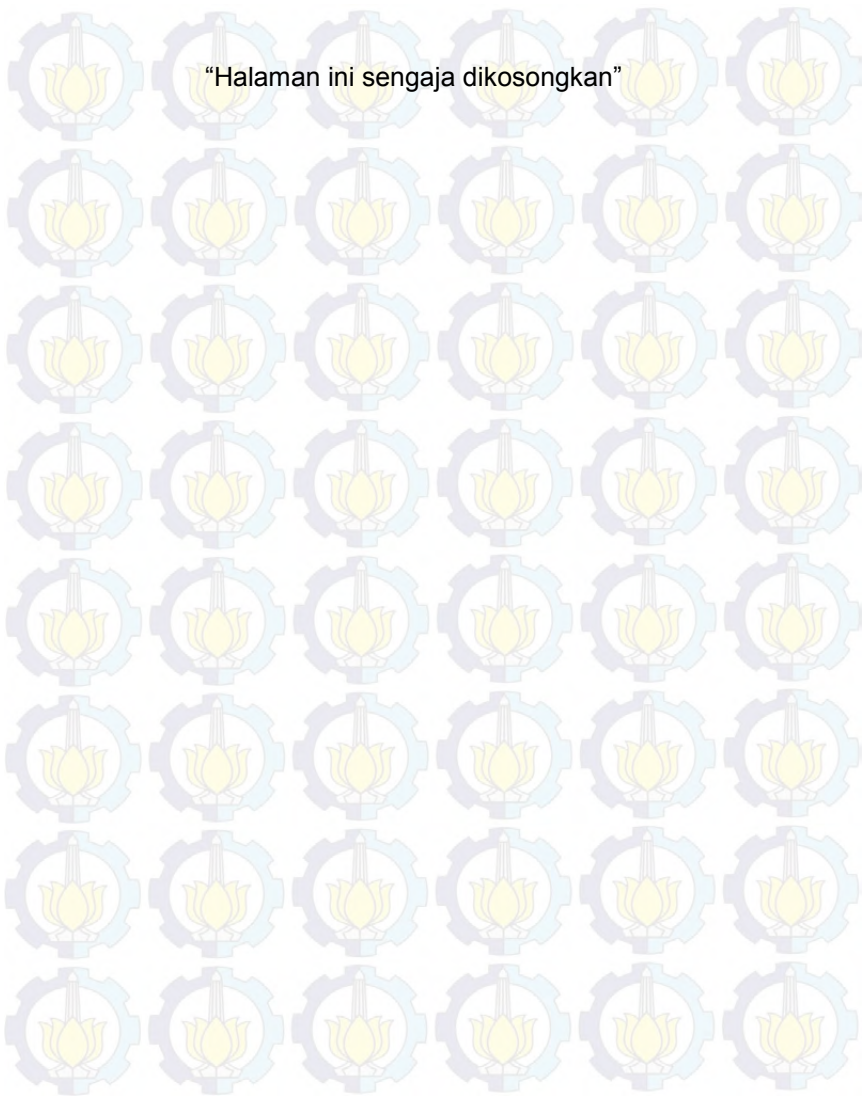
Tchobanoglous, G., F. L. Burton, and H. D. Stensel. 2002. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th.** New York City: McGraw Hill Higher Education.

The Pennsylvania State Association of Township Supervisors (PSATS). 2014. "Wastewater Treatment Plant Operator Certification Training". **Penn State Harrisburg Environmental Training Center: 21**

Turner, H. 2007. "The Benefits of Polyethylene vs. Traditional Materials in Water and Wastewater Pipe Applications". **The Dow Chemical Company: 30-31**

US EPA. 1984. **Rotating Biological Contactors (RBCs) Checklist for A Trouble-Free Facility.** Chicago: United States Environmental Protection Agency..

Williams, S. E. 2011. "Reconsidering Rotating Biological Contactors As An Option For Municipal Wastewater Treatment". **Williams & Works, Inc: 1-8**



BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 13 Februari 1994, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Kaliasin III Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya, dan SMA Negeri 4 Surabaya. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2011, Penulis mengikuti SNMPTN jalur ujian dan diterima di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP 3311100032. Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan sebagai pengurus Departemen Dalam Negeri HMTL

FTSP ITS selama dua periode, yakni 2012-2013 sebagai staf dan 2013-2014 sebagai staf ahli. Penulis juga aktif sebagai asisten Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan dan Teknik Analisis Pencemar Lingkungan. Pelatihan yang pernah diikuti penulis antara lain ISO 14001:2004 dan OHSAS 18001:2007. Penulis berkesempatan untuk mengikuti *On Job Training* (Kerja Praktek) di PT. Sarihusada Generasi Mahardhika I, Yogyakarta. Kritik, saran maupun masukan yang berkaitan mengenai topik penelitian penulis dapat dikirimkan melalui iqbal_wardani@yahoo.com

