



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH KANTOR PUSAT PERTAMINA**

**SKRIPSI**

**DWICA WULANDARI  
0806338645**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH KANTOR PUSAT PERTAMINA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana**

**DWICA WULANDARI  
0806338645**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DESIGN EVALUATION OF WASTE WATER TREATMENT  
PLANT IN KANTOR PUSAT PERTAMINA**

**FINAL REPORT**

**Proposed as one of the requirement to obtain a Bachelor's degree**

**DWICA WULANDARI  
0806338645**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
DEPOK  
JULY 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Dwica Wulandari**

**NPM : 0806338645**

**Tangan : **

**Tanggal : 4 Juli 2012**

## STATEMENT OF AUTHENTICITY

**I declare that this final report of one of my own research,  
and all of the references either quoted or cited here  
have been mentioned properly.**

**Name : Dwica Wulandari**

**Student ID : 0806338645**

**Signature :** 

**Date : 4 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini di ajukan oleh :

Nama : Dwica Wulandari  
NPM : 0806338645  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Evaluasi Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah  
Kantor Pusat Pertamina

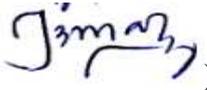
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA (  )

Pembimbing 2 : Dr. Cindy R. Priadi, ST., M.Sc. (  )

Penguji : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, SE., M.Eng. (  )

Penguji : Ir. Irma Gusniani, M.Sc (  )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 9 Juli 2012

## STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by :

Name : Dwica Wulandari  
Student ID : 0806338645  
Study Program : Environmental Engineering  
Thesis Title : Design Evaluation of Waste Water Treatment Plant at Kantor Pusat Pertamina

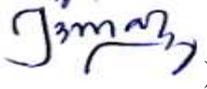
Has been successfully defended before the Council Examiners and was accepted as part of the requirements necessary to obtain a Bachelor of Engineering degree in Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia.

### BOARD OF EXAMINERS

Advisor 1 : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA (  )

Advisor 2 : Dr. Cindy R. Priadi, ST., M.Sc. (  )

Examiner 1 : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, SE., M.Eng. (  )

Examiner 2 : Ir. Irma Gusniani, M.Sc (  )

Defined in : Depok

Date : July 9, 2012

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah saya panjatkan kepada Allah SWT yang Maha Tinggi Di Atas Sana, yang Maha Mengatur, Maha Memudahkan Segala Urusan, atas segala 2 kemudahan yang selalu mengiringi dalam tiap 1 kesulitan yang diberikan-Nya dalam mengerjakan skripsi ini. Shalawat beserta salam selalu kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Skripsi dengan judul “Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Kantor Pusat Pertamina” ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi program sarjan Strata 1 (S1) pada program studi Teknik Lingkungan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Skripsi ini dapat diselesaikan juga dengan berbagai bantuan dari berbagai pihak. Karenanya saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Cindy Priadi, ST, M.Sc selaku dosen pembimbing yang juga telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dan tidak lelah membaca email-email yang dikirimkan.
3. Bapak Dr. Ir Djoko M. Hartono, SE, M.Eng dan Ibu Ir Irma Gusniani D, M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberika saran-saran sehingga penyusunan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak dan Ibu Dosen pada Program Studi Teknik Lingkungan dan Teknik Sipil. Universitas ini menjadi universitas kehidupan bagi saya karena jasa Bapak dan Ibu Dosen.
5. Ibu Tuti kepala LLHD dan Bapak Ricky staf laboratorium LLHD.
6. Bapak Yudi, Bapak Agus, Mbak Dessy Staff HSE Pertamina yang telah banyak membantu dalam penyediaan data sekunder.
7. Wulan Agus Pramita. Terimakasih Euceu untuk *editing*-nya. The only reason God didn't make us sisters is because one mom couldn't handle us both.

8. Rahayu Handayani,yang bersama-sama berlari buat bimbingan.Thaknyou mbaknyaah, Keep running, eonnie! Maisarah Rizky, I'll miss our togetherness in this 4 years, mai! ☺Atikah Mutia, Aulia Azwarani Ayu Erlinna, dan Citra Anindya. Thankyou guys! Tetep jadi orang yang sama yaa walaupun nanti ga sama-sama lagi yaa ☺
9. Tante Rani dan Om Heidi Yursal,orang tua kedua saya di Jakarta, terimakasih tante, terimakasih om. I love you both.
10. Seluruh saudara-saudara angkatan 2008 Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Terimakasih untuk 4 tahun yang menakjubkan ini.
11. Ibu Siti Maryam TO , Ibunda tercinta, Terimakasih mi, untuk tiap doa dan semangat yang selalu dibisikkan. Bapak Daswan, Ayahanda Tercinta, untuk nasihat-nasihat baik , “teliti-teliti ya nak “, yang tak pernah lepas di ucapkan. *You are my everything. Everything.*

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki. Untuk itu, saya mengharapkan saran dan kritik membangun dari semua pihak agar menjadi lebih baik lagi dimasa yang akan datang.

Depok, Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dwica Wulandari  
NPM : 0806338645  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**EVALUASI DESAIN INSTALASI PENGEOLAHAN AIR LIMBAH  
KANTOR PUSAT PERTAMINA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 4 Juli 2012

Yang menyatakan



(Dwica Wulandari)

**STATEMENT OF AGREEMENT  
OF FINAL REPORT PUBLICATION FOR ACADEMIC PURPOSES**

---

---

As an civitas academica of Universitas Indonesia, I, the undersigned:

Name : Dwica Wulandari  
Sutudent ID : 0806338645  
Study Program : Environmental Engineering  
Department : Civil Engineering  
Faculty : Engineering  
Type of Work : Final Report

for the sake of science development, hereby agree to provide Universitas Indonesia **Non-exclusive Royalty Free Right** for my scientific work entitled:

**DESIGN EVALUATION OF WASTE WATER TREATMENT PLANT AT  
KANTOR PUSAT PERTAMINA**

together with the entire documents (if necessary). With the Non-exclusive Royalty Free Right, Universitas Indonesia has rights to store, convert, manage in the form of database, keep and publish mu final report as long as list my name as the author and copyright owner.

I certify that the above statement is true.

Signed at : Depok

Date this : July 4<sup>th</sup>, 2012

The Declarer



(Dwica Wulandari)

## ABSTRAK

Nama : Dwica Wulandari  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Evaluasi Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah Kantor  
Pusat Pertamina

Instalasi Pengolahan Air Limbah Kantor Pusat Pertamina telah beroperasi sejak 1988. Pengolahan air limbah berjalan dengan menggunakan sistem *activated sludge extended aeration*. Selama masa pengoperasian ditemukan masalah pada proses pengolahan seperti karakteristik effluent yang tidak memenuhi baku mutu sehingga harus dilakukan evaluasi untuk meningkatkan efisiensi pengolahan. Evaluasi ini dilakukan dengan menghitung parameter-parameter kinerja pada kondisi eksisting dan berdasarkan kriteria desain pada literatur. Selain itu, diperhitungkan juga kondisi perencanaan dengan debit air limbah dari beberapa gedung tambahan.

Hasil dari evaluasi ini yaitu efisiensi pengolahan sudah mencapai 77% untuk penghilangan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) namun tidak sesuai dengan kriteria desain dimana efisiensi dari proses *activated sludge extended aeration* adalah 85%- 95%. Selain itu, konsentrasi ammonia pada effluent tidak memenuhi baku mutu. Pada kondisi eksisting, parameter kinerja adalah *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS) dengan nilai 178 mg/L, *Food to microorganism ratio* (F/M ratio) 0,84, kebutuhan udara pada bak aerasi sebesar 2190 m<sup>3</sup>/hari, *sludge retention time* selama 7 hari, dan nilai resirkulasi lumpur 86 m<sup>3</sup>/hari. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan untuk kondisi perencanaan yang sesuai dengan kriteria desain untuk mencapai nilai parameter kinerja MLSS 2.500 mg/L, F/M Ratio 0,06, kebutuhan udara pada bak aerasi sebesar 2.196 m<sup>3</sup>/hari, *sludge retention time* selama 24 hari dan nilai resirkulasi lumpur 0,15 m<sup>3</sup>/hari.

Keyword : evaluasi, air limbah domestik, gedung kantor

## ABSTRACT

Name : Dwica Wulandari  
Study Program: Environmental Engineering  
Title : Design Evaluation of Waste Water Treatment Plant at Kantor  
Pusat Pertamina

Waste water treatment plant in Kantor Pusat Pertamina operated since 1988. The Waste Water Treatment Plant(WWTP)consists of physical and biological process usingan activated sludge - extended aeration system. During the operation time, there are several troubleshoots in treatment process such as the effluent quality which doesnt meet the standard, therefore the WWTP needs to be evaluated. Performance evaluation of treatment unitswasconductedbased on design criteria in severalreferences and existing condition. The evaluation also considers influent flow rateoriginating from additional buildings.

The evaluation indicated a *Biochemical Oxygen Demand* ( BOD) removal efficiency of up to 77%.This does not meet design criteria in the referenceswhere removal efficiency of *activated sludge* ranges from 85% to 95%. In addition, ammonia concentration in effluent does not meet the effluent standard. In existing condition, performance parameters are *Mixed Liquor Suspended Solids*(MLSS) of 178 mg/L, *Food to microorganism ratio* (F/M ratio) of 0,84, aeration air demand of 2190 m<sup>3</sup>/day, sludge retention time of 7 days, and recycled sludge of 86 m<sup>3</sup>/day. Performance parameters need to be improvedfor furhter planning condition,are *Mixed Liquor Suspended Solids*(MLSS) 2500 mg/L, *Food to microorganism ratio* (F/M ratio) 0,06, aeration air demand 2916 m<sup>3</sup>/hari, sludge retention time 24 days, and recycled sludge 0,15 m<sup>3</sup>/hari.

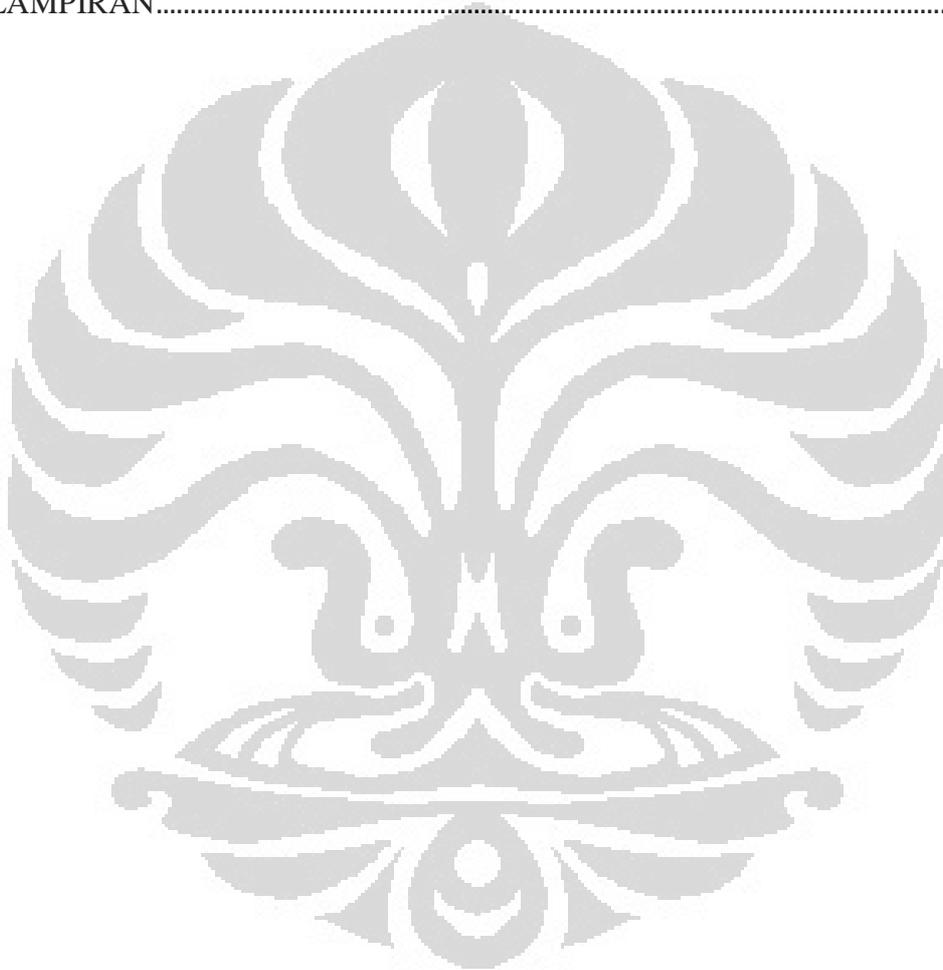
Keyword : evaluation, domestic waste water, office buliding

## DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas .....	III
Statement Of Authenticity.....	IV
Halaman Pengesahan .....	V
Kata Pengantar .....	VII
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi .....	IX
Tugas Akhir Untuk Kepentingan Akademis .....	IX
Statement Of Agreement.....	X
Of Final Report Publication For Academic Purposes .....	X
Abstrak .....	XI
Abstract .....	XII
Daftar Isi.....	XIII
Daftar Gambar.....	XVI
Daftar Tabel .....	XVII
Daftar Persamaan .....	XVIII
Daftar Lampiran .....	XIX
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Pertanyaan Penelitian .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Batasan Penelitian.....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Air Limbah Secara Umum .....	5
2.1.1 Definisi Istilah .....	5
2.1.2 Signifikansi Pengolahan .....	6
2.2 Karakteristik Air Limbah .....	6
2.2.1 Karakteristik Fisik .....	6
2.2.2 Karakteristik Kimia .....	8
2.2.2.1 Konstituen Kimia Organik .....	8
2.2.2.2 Konstituen Kimia Anorganik .....	14
2.2.3 Karakteristik Biologi .....	16
2.3 Air Limbah Domestik .....	16
2.3.1 Terminologi .....	16
2.3.2 Pengelolaan Air Limbah Domestik Gedung Perkantoran .....	17
2.3.3 Timbulan Air Limbah Perkantoran DKI Jakarta dan Pencemaran Air ..	17
2.4 Estimasi Kuantitas Air Limbah Perkantoran.....	19
2.5 Karakteristik Air Limbah Perkantoran .....	22
2.6 Standar Baku Mutu.....	25
2.7 Pengolahan Air Limbah Perkantoran.....	26

2.7.1	Pra Pengolahan ( <i>Preliminary Treatment</i> ).....	27
2.7.2	Pengolahan Primer ( <i>Primary Treatment</i> ) .....	28
2.7.3	Pengolahan Sekunder ( <i>Secondary Treatment</i> ) .....	31
2.8	Pengolahan Biologis.....	<b>33</b>
2.8.1	Lumpur Aktif Konvensional .....	34
2.8.2	Lumpur Aktif Tipe <i>Extended Aeration</i> .....	35
2.9	Parameter Kinerja Unit Pengolahan.....	<b>36</b>
2.10	Desinfeksi .....	<b>44</b>
2.11	Data IPAL Eksisting Kantor Pusat Pertamina .....	<b>44</b>
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>47</b>
3.1	Umum.....	<b>47</b>
3.2	Kerangka Penelitian.....	<b>47</b>
3.3	Variabel Penelitian.....	<b>48</b>
3.4	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	<b>48</b>
3.5	Pengumpulan Data.....	<b>49</b>
3.5.1	Pengumpulan Data Sekunder .....	49
3.5.2	Pengumpulan Data Primer.....	50
3.6	Pengambilan Sampel.....	<b>50</b>
3.6.1	Lokasi Pengambilan Sampel .....	50
3.6.2	Waktu Pengambilan Sampel .....	52
3.6.3	Pengujian Sampel di Laboratorium.....	52
3.7	Metode Pengolahan Data.....	<b>55</b>
3.7.1	Analisa Kinerja IPAL.....	55
3.7.2	Efisiensi Unit Pengolahan .....	58
3.8	Timeline .....	<b>59</b>
<b>BAB 4 GAMBARAN UMUM LOKASI.....</b>		<b>60</b>
4.1	Luasan Bangunan Gedung .....	<b>61</b>
4.2	Penggunaan Sumber Daya Air.....	<b>62</b>
4.3	Kondisi Eksisting Instalasi Pengolahan Air Limbah Kantor Pusat Pertamina	<b>64</b>
4.4	Debit Timbulan Air Limbah .....	<b>73</b>
4.4.1	Kondisi Eksisting .....	73
4.4.2	Kondisi Perencanaan .....	79
<b>BAB 5 ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>82</b>
5.1	Analisa Inlet Air Limbah.....	<b>82</b>
5.1.1	Analisa debit Air Limbah .....	82
5.1.2	Analisa Karakteristik Air Limbah .....	84
5.2	Analisa Proses Pengolahan .....	<b>87</b>
5.2.1	Proses Pada Unit Aerasi .....	87
5.2.2	Proses Pada Unit Sedimentasi .....	100
5.2.3	Analisa Unit Klorinasi.....	103

5.3	Analisa Outlet Air Limbah.....	104
5.3.1	Analisa Effluent Berdasarkan Standar Baku Mutu .....	104
5.4	Analisa Efisiensi Total Proses Pengolahan.....	111
<b>BAB 6 KESIMPULAN.....</b>		<b>113</b>
6.1	Kesimpulan.....	113
6.2	Saran .....	114
DAFTAR PUSTAKA .....		115
LAMPIRAN.....		117



## DAFTAR GAMBAR

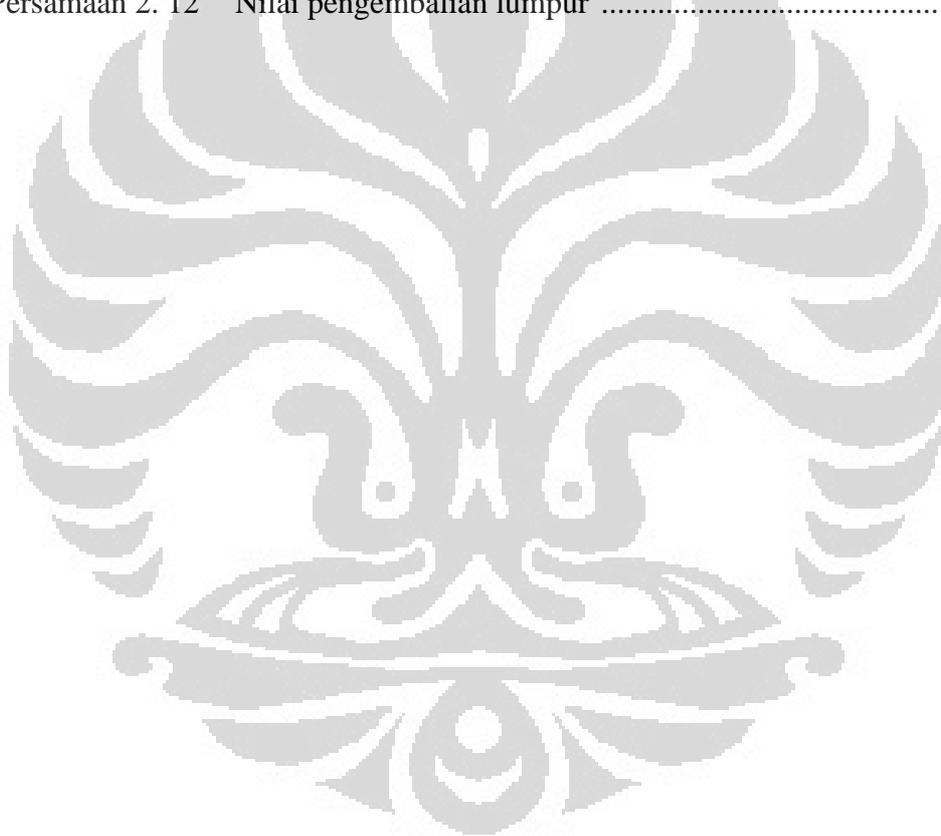
Gambar 2.1	Komposisi Komponen Penyusun Limbah Domestik .....	23
Gambar 2.2	Konsentrasi DO pada periode aerasi .....	29
Gambar 2.3	Diagram Alir Proses Pengolahan Lumpur Aktif .....	34
Gambar 2.4	Diagram Alir Proses Pengolahan Lumpur Aktif <i>Extended Aeration</i> .....	35
Gambar 2.1	Layout IPAL Eksisting Gedung Kantor Pusat Pertamina .....	45
Gambar 3.2	Titik Pengambilan Sampel .....	51
Gambar 4.1	Lokasi Gedung Kantor Pusat Pertamina .....	61
Gambar 4.1	Neraca Air Gedung Perwira .....	63
Gambar 4.2	Neraca air Gedung Utama dan Gedung Annex .....	64
Gambar 4.3	Skema Aliran Air Limbah Kantor Pusat Pertamina .....	65
Gambar 4.4	Skema Pengolahan IPAL Kantor Pusat Pertamina .....	66
Gambar 4.5	Unit Comminutor .....	67
Gambar 4.6	Unit Aerasi .....	68
Gambar 4.7	Unit Sedimentasi .....	70
Gambar 4.8	Tabung Injeksi Klor .....	71
Gambar 4.9	Pipa Pengembalian Lumpur .....	72
Gambar 5.1	Grafik nilai pH pada effluent IPAL .....	105
Gambar 5.2	Grafik kandungan zat organik pada effluent IPAL .....	106
Gambar 5.3	Grafik kandungan TSS pada effluent IPAL .....	107
Gambar 5.4	Grafik kandungan minyak dan lemak pada effluent IPAL .....	108
Gambar 5.5	Grafik kandungan COD pada effluent IPAL .....	109
Gambar 5.6	Kandungan ammonia pada effluent IPAL .....	110

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kondisi Air Limbah DKI Jakarta.....	17
Tabel 2.2 Beban Polutan Organik di Wilayah DKI Jakarta.....	18
Tabel 2.3 Tipe Besaran Populasi Equivalen (Pe) Berdasarkan Jenis Peruntukkan.....	20
Tabel 2.4 Tipe Sumber Aliran Air Limbah dari Sumber Komersial.....	20
Tabel 2.5 Pemakaian Air dan Frekuensi Penggunaan Per Jam Alat Plambing.....	21
Tabel 2.6 Kualitas Air Limbah Domestik.....	24
Tabel 2.7 Baku Mutu Air Limbah.....	26
Tabel 2.8 Kriteria Desain Sedimentasi Sekunder .....	31
Tabel 2.9 Kriteria Desain Lumpur Aktif <i>Extended Aeration</i> .....	35
Tabel 2.10 Parameter Kinerja dan Kontrol Proses Activated Sludge .....	42
Tabel 2.11 Permasalahan pada proses <i>activated sludge</i> dan penyebabnya.....	42
Tabel 2.12 Solusi Operasional dan konstruksional masalah pada proses <i>activated sludge</i>	43
Tabel 2.13 Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah 2010 .....	45
Tabel 3.1 Data Sekunder .....	49
Tabel 3.2 Data Primer .....	50
Tabel 3.3 Standar Pengujian Parameter .....	52
Tabel 4.1 Luas Area Gedung Kantor Pusat Pertamina .....	61
Tabel 4.2 Data Penggunaan Air Kantor Pusat Pertamina .....	62
Tabel 4.3 Debit Resirkulasi Lumpur.....	72
Tabel 4.4 Data Pengukuran Inlet IPAL.....	74
Tabel 4.5 Perhitungan Debit Air Limbah Gedung Utama Berdasarkan Alat Plambing	76
Tabel 4.6 Perhitungan Debit Air Limbah Gedung Annex Dari Alat-Alat Plambing	77
Tabel 4.7 Debit Air Limbah Setelah dikali Faktor Pemakaian Serentak .....	77
Tabel 4.8 Jumlah Populasi Karyawan Gedung Annex.....	78
Tabel 4.9 Populasi Karyawan Gedung Utama .....	78
Tabel 4.10 Perhitungan Debit Air Limbah Gedung Perwira dari Alat Plambing .	80
Tabel 4.11 Perhitungan Debit Air Limbah dengan Faktor Perhitungan Serentak	80
Tabel 4.12 Debit Air Limbah Berdasarkan Populasi Gedung Perwira .....	81
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Debit Timbulan Air Limbah.....	82
Tabel 5.2 Analisa Laboratorium Karakteristik Inlet IPAL .....	84
Tabel 5.3 Hasil Analisa Laboratorium TSS, BOD, dan COD Unit Aerasi .....	88
Tabel 5.4 Hasil Analisa TSS, BOD, COD pada Unit Sedimentasi .....	100
Tabel 5.5 Efisiensi Total Pengolahan Air Limbah.....	111

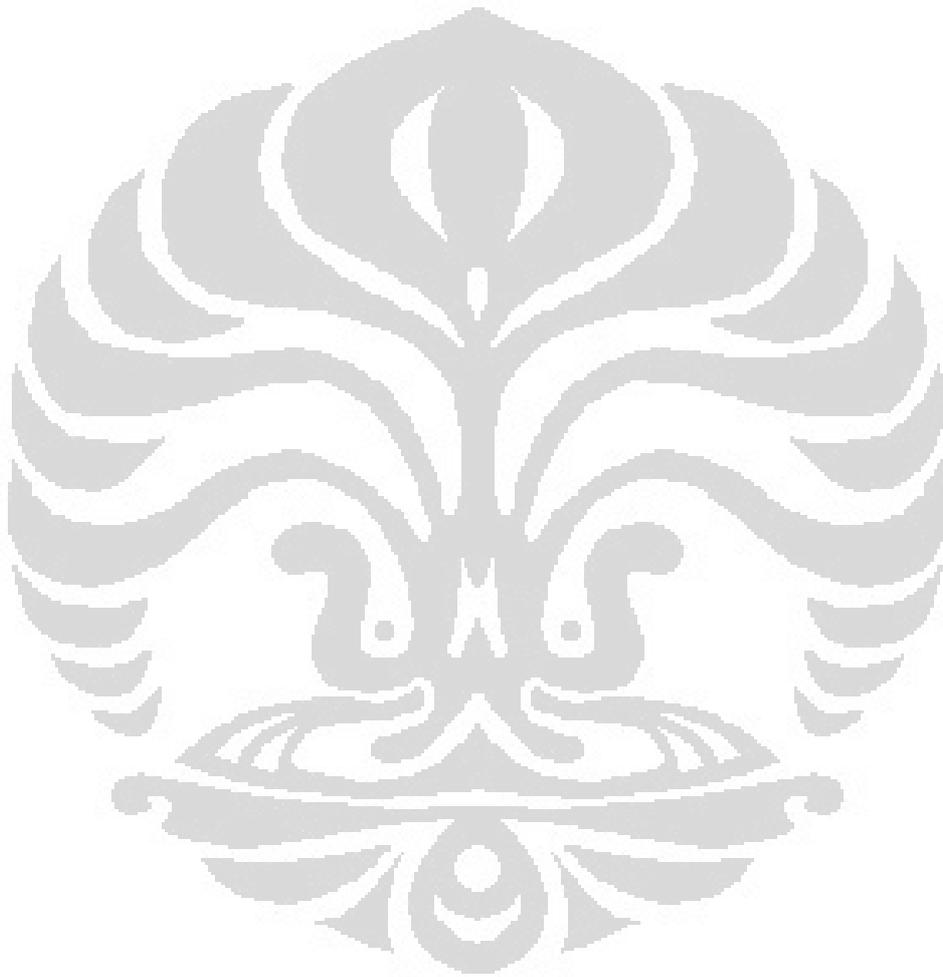
**DAFTAR PERSAMAAN**

Persamaan 2. 1	Laju Beban BOD .....	33
Persamaan 2. 2	Waktu Tinggal Hidrolik .....	33
Persamaan 2. 3	Food to Microorganism .....	34
Persamaan 2. 4	Kebutuhan Oksigen .....	35
Persamaan 2. 5	Umur Lumpur .....	36
Persamaan 2. 6	Kemampuan Pengendapan Lumpur .....	36
Persamaan 2. 7	Massa dan Volume Pembuangan Lumpur per hari .....	36
Persamaan 2. 8	<i>Standard Oxygen Requirement</i> (SOR) .....	37
Persamaan 2. 9	Faktor Koreksi Kelarutan Oksigen .....	37
Persamaan 2. 10	Temperatur Ambien .....	37
Persamaan 2. 11	Nilai Kebutuhan Oksigen berdasarkan SRT .....	38
Persamaan 2. 12	Nilai pengembalian lumpur .....	38



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pemeriksaan Laboratorium



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk di Indonesia yang begitu cepat di wilayah perkotaan memberikan dampak yang serius terhadap penurunan daya dukung lingkungan. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, meningkat pula berbagai aktivitas perkantoran, pemukiman, perindustrian dan aktivitas domestik masyarakat yang tidak ramah lingkungan dan menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Saat ini, selain pencemaran akibat limbah industri, pencemaran akibat limbah domestik telah menunjukkan tingkat yang cukup serius.

Di wilayah Jakarta, masih minimnya pengolahan air limbah mengakibatkan tercemarnya badan sungai oleh air limbah domestik, bahkan badan sungai yang diperuntukkan sebagai bahan baku air minum menjadi tercemar pula. Dari hasil penelitian Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta bersama-sama dengan Tim JICA (1989) , dilihat dari segi jumlah, air limbah domestik dan perkantoran adalah penyumbang terbesar pencemaran air di wilayah DKI Jakarta yaitu sebesar 90%.

BPLHD Jakarta Selatan setiap tahun rutin memeriksa standar pembuangan air limbah domestik sejumlah gedung yang dikelola pihak swasta terkait penerapan Peraturan Gubernur Nomor 582 tahun 1995 tentang Pemeriksaan Baku Mutu Limbah Cair di DKI Jakarta dan Peraturan Gubernur No. 122 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi DKI Jakarta. Tahun 2008, BPLHD Jakarta Selatan telah memeriksa 226 sampel limbah cair dari 263 gedung perkantoran, hotel, dan pusat perbelanjaan. Hal ini penting karena masih banyaknya gedung-gedung yang telah memiliki instalasi pengolahan air limbah namun tidak memenuhi persyaratan instalasi pengolahan air limbah sehingga dapat menimbulkan masalah lingkungan.

Salah satu aktivitas dalam gedung yang perlu mendapat perhatian dalam rangka perlindungan terhadap lingkungan hidup ialah pengolahan air limbah, baik berupa *grey water* (air bekas) ataupun *black water* (air kotor/air tinja). Meskipun

secara normatif pemerintah telah membuat aturan tentang pengelolaan limbah, antara lain melalui PP No. 82 Tahun 2001 mengenai Pengendalian Pencemaran Air dan Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No.122 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi DKI Jakarta, pengendalian pencemaran lingkungan yang di sebabkan oleh air limbah domestik masih terbatas. Tidak terpenuhinya persyaratan IPAL pada gedung-gedung di Jakarta menjadi catatan tersendiri pada pengelolaan air limbah dari sumber aktivitas yang dilakukan, sehingga telah mempengaruhi kualitas air limbah hasil olahan yang dibuang.

Gedung Kantor Pusat Pertamina yang terletak di Jl. Merdeka Timur No. 1A adalah salah satu gedung yang telah memiliki instalasi pengolahan air limbah dengan 3 bangunan gedung yang memiliki kapasitas  $\pm 2500$  orang. Dalam rangka mendukung program pembangunan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan dan berdasarkan hasil Audit Energi Gedung Kantor Pusat Pertamina 2010, maka perlu dilakukan upaya peningkatan-peningkatan efektifitas dan efisiensi pengolahan.

Selain itu, sejalan dengan berjalannya waktu sejak dioperasikan, Gedung Kantor Pusat Pertamina juga telah mengalami peningkatan jumlah populasi pengguna yang berdampak pada produksi air limbah. Perubahan tersebut berdampak signifikan pada peningkatan beban hidrolis dan perubahan karakteristik limbah. Akibatnya terjadi penurunan kinerja pada IPAL yang digunakan pada gedung tersebut.

Sehubungan dengan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian dan evaluasi lebih jauh terhadap unit instalasi yang mengolah air limbah mulai dari STP hingga Sungai Ciliwung. Evaluasi dilakukan terhadap efektifitas, efisiensi IPAL dan ambang baku mutu yang berlaku serta target efisiensi yang ditetapkan oleh Kantor Pusat Pertamina dalam rangka pengelolaan air limbah terpadu. Selanjutnya, perbandingan antara efisiensi tiap-tiap unit instalasi, efisiensi total dan target yang akan dicapai dijadikan landasan untuk evaluasi disain dalam rangka pembaharuan sistem IPAL Gedung Kantor Pusat Pertamina. Oleh karena itu, penelitian ini mengambil judul “Evaluasi Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah Kantor Pusat Pertamina”

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah penurunan kinerja instalasi pengolahan air limbah Kantor Pusat Pertamina akibat lamanya masa operasi.

## 1.3 Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi penurunan kinerja IPAL akibat lamanya masa operasi IPAL
2. Bagaimana kinerja masing-masing unit IPAL kondisi eksisting dan perencanaan ?
3. Bagaimana karakteristik air limbah yang dihasilkan pada Gedung Kantor Pusat Pertamina?
4. Bagaimana efisiensi masing-masing unit dan efisiensi total unit instalasi pengolahan?

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan antara lain :

- Mengetahui penurunan kinerja IPAL akibatnya lamanya masa operasi
- Mengetahui kinerja masing-masing unit IPAL pada kondisi eksisting dan perencanaan
- Mengetahui karakteristik air limbah yang dihasilkan pada Gedung Kantor Pusat Pertamina
- Mengetahui efisiensi masing-masing unit dan efisiensi total unit instalasi pengolahan

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian yang akan dilakukan, sebagai berikut:

- a. Manfaat teoritis
  - Memperluas pengetahuan penulis dalam masalah pengelolaan air limbah domestik

- Menjadi referensi untuk penelitian-penelitian berikutnya yang relevan
- b. Manfaat Praktis
- Memberikan informasi dan masukan bagi pengelola gedung dalam mengambil kebijakan mengenai rencana pengelolaan air limbah yang dihasilkan pada Gedung Kantor Pusat Pertamina

### **1.6 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Evaluasi akan dilakukan pada masing-masing unit pengolahan yang diterapkan, baik pada desain maupun analisis kuantitas dan kualitas air limbah masuk dan keluar pada masing-masing unitnya
2. Pada IPAL Eksisting, air limbah yang diolah di IPAL berasal dari 2 gedung pada Gedung Kantor Pusat Pertamina yaitu Gedung Anex dan Gedung Utama. Pada penelitian ini, akan dilakukan rekomendasi perbaikan dengan memasukkan air limbah yang berasal dari Gedung Perwira yang sebelumnya dibuang ke Tangki Septik.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan evaluasi instalasi pengolahan air limbah domestik perkantoran, pengetahuan yang dibutuhkan antara lain meliputi kuantitas dan kualitas influent dan effluent air limbah pada tiap-tiap unit pengolahan. Debit air limbah akan menentukan ukuran unit-unit operasi dan proses yang akan diterapkan serta desain hidrolis instalasi. Sedangkan kualitas air limbah effluent yang harus dicapai akan menentukan pemilihan dari unit operasi dan proses yang akan diterapkan pada instalasi pengolahan air limbah.

#### 2.1 Air Limbah Secara Umum

##### 2.1.1 Definisi Istilah

Berikut ini adalah beberapa istilah seputar air limbah yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

- a. Air limbah merupakan sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair (PP No. 82 tahun 2001)
- b. Air limbah domestik, merupakan air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman (real estate), rumah makan (restoran), perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama (Kepmen LH no. 112 tahun 2003).
- c. Air limbah industri, merupakan air limbah yang berasal dari kegiatan industri
- d. Infiltrasi, merupakan air limbah yang masuk ke dalam sistem pengumpulan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Air ini dapat berasal dari jalan, halaman, dan sumber lain yang dihasilkan saat hujan dan masuk ke dalam sistem pengumpulan

Air limbah *municipal*, merupakan istilah yang digunakan untuk gabungan air limbah, baik yang berasal dari limbah domestik, industri, infiltrasi, inflow, dan sumber lain yang masuk ke dalam sistem pengumpulan.

Dalam Metcalf & Eddy (2004) disebutkan bahwa poin b, c,d,dan e merupakan komponen air limbah yang secara umum dihasilkan oleh suatu komunitas sebelum masuk ke sistem pengumpulan.

### 2.1.2 Signifikansi Pengolahan

Salah satu signifikansi pengelolaan air limbah adalah dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air. Pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Peraturan Pemerintah nomor 82 tahun 2001).

Menurut Effendi (2003), air limbah penting untuk dikelola antara lain karena alasan berikut, yaitu :

- a. Air limbah dapat menyebabkan kondisi sanitasi yang buruk di lokasi tempat air limbah tersebut dihasilkan. Hal ini dapat menyebabkan pertumbuhan lalat, bakteri, nyamuk, dan lain sebagainya yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan.
- b. Air limbah umumnya dibuang ke badan air terdekat atau ke tanah. Ini dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air dan menyebabkan bahaya serta ketidaknyamanan bagi masyarakat yang tinggal di dekat badan air tersebut.
- c. Air limbah yang dihasilkan oleh industri umumnya sangat kompleks dan bertendensi mengandung bahan toksik yang dapat membahayakan makhluk hidup serta kehidupan akuatik
- d. Air limbah dapat mengalami perkolasi dan mengkontaminasi air permukaan.

## 2.2 Karakteristik Air Limbah

### 2.2.1 Karakteristik Fisik

Karakteristik Fisik yang paling penting dari air limbah adalah komponen padatan total (total solids content) yang antara terdiri dari materi mengapung (floating matter), materi mengendap (settleable matter) dan materi dalam larutan air limbah (mater in solution).

- a. Total Padatan (Total Solids – TS) adalah gabungan antar padatan tersuspensi dan terlarut yang diukur dari residu yang tersisa dari sampel air limbah yang telah mengalami evaporasi dan pengeringan pada temperatur tertentu (103°C-105°C).
- b. Total Padatan tersuspensi (Total Suspended Solids-TSS) adalah prosi TS yang tersisa dalam filter dengan ukuran pori yang telah terspesifikasi atau telah ditentukan sebelumnya, dan diukur setelah dilakukan pengeringan pada temperatur tertentu (105°C). Filter dengan berbagai macam ukuran pori yang biasa digunakan dalam pengukuran TSS bervariasi antara 0,45-2,0 µm (Metcalf & Eddy, 2004).
- c. Total Padatan terlarut (Total Dissolved Solid –TDS) adalah padatan yang terkandung dalam filtrat yang melewati filter dengan ukuran nominal pori 2 µm atau lebih kecil dari itu, dan selanjutnya terevaporasi dan dikeringkan pada temperatur tertentu. TDS adalah gabungan dari padatan koloid dan terlarut. Klasifikasi ukuran koloid bervariasi dari 0,001 – 1,0 µm atau 0,003-1,0 µm (Metcalf & Eddy, 2004).
- d. Volatile & Fixed Solids – Materi yang dapat bervolatilisasi dan terbakar pada suhu 500±50°C diklasifikasikan bersifat *volatile* (Metcalf & Eddy, 2004). Secara umum, *volatile solids* (VS) diperhitungkan sebagai pengukuran kasar terhadap kandungan organik dalam air limbah, walaupun beberapa materi organik tidak akan terbakar dan beberapa padatan anorganik berkurang pada temperatur yang tinggi. Fixed solids (FS) terdiri atas residu yang tertinggal setelah sampel dibakar (*ignited*). Maka dari itu, TS, TSS dan TDS merupakan gabungan dari *fixed* dan *volatile solids*. Rasio VS terhadap FS biasanya digunakan untuk melihat karakteristik air limbah dalam hubungannya dengan nilai kandungan materi organik (Metcalf & Eddy, 2004).
- e. Temperatur  
Temperatur air limbah umumnya lebih tinggi daripada temperatur suplai air bersih lokal disebabkan adanya penambahan air hangat dari pemakaian pemanas air untuk kepentingan kebersihan dan aktivitas rumah tangga. Temperatur air limbah merupakan hal yang penting karena efeknya terhadap

reaksi kimia dan tingkat reaksi, kehidupan air, dan kelayakan air tersebut untuk digunakan pada pemanfaatan lainnya. Perubahan pada air yang mendadak dalam badan air juga dapat meningkatkan nilai mortalitas kehidupan air yang berada didalamnya. Terjadinya temperatur tinggi yang tidak normal dapat mempercepat pertumbuhan tanaman yang tidak diinginkan dan jamur pada air limbah. Temperatur optimum untuk aktivitas bakteri adalah pada rentang 25-35°C (Metcalf & Eddy, 2004).

## 2.2.2 Karakteristik Kimia

### 2.2.2.1 Konstituen Kimia Organik

Pada umumnya zat organik berisikan kombinasi dari karbon, hidrogen, dan oksigen, bersama-sama dengan nitrogen. Elemen lainnya yang penting seperti belerang, fosfor, dan besi juga dapat dijumpai. Semakin lama, jumlah dan jenis bahan organik semakin banyak, hal ini akan mempersulit dalam pengolahan air limbah, sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme.

Senyawa-senyawa organik terdiri atas kombinasi dari karbon, hidrogen, dan oksigen, dan pada beberapa senyawa berikatan pula dengan nitrogen. Materi organik dalam air limbah secara umum terdiri atas protein (40–60%), karbohidrat (25–50%), serta minyak & lemak (8–12%) (Metcalf & Eddy, 2004).

- **BOD**

*Biochemical Oxygen Demand* merupakan analisis biokimiawi yang dilakukan untuk menentukan aproksimasi kuantitas oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri aerob untuk menstabilisasi kandungan materi organik pada kondisi aerob secara biologis. Dalam analisis BOD dilakukan pula pengukuran kandungan oksigen terlarut (DO) yang digunakan mikroorganisme dalam reaksi oksidasi biokimiawi terhadap materi organik, dan standar yang digunakan adalah reaksi oksidasi dalam kurun waktu 5 hari pada suhu 20°C.

Selain waktu analisis yang lama, kelemahan dari penentuan BOD adalah diperlukannya benih bakteri yang teraklimatisasi dan aktif dalam konsentrasi yang tinggi, diperlukannya perlakuan pendahuluan tertentu apabila perairan di indikasi mengandung bahan toksik, dan efek dari

organisme nitrifikasi harus dikurangi. Meskipun ada kelemahan-kelemahan tersebut, BOD tetap digunakan sampai sekarang. Hal ini menurut Metcalf & Eddy (2004) karena beberapa alasan terutama dalam hubungannya dengan pengolahan air limbah, yaitu :

- a. BOD penting untuk mengetahui perkiraan jumlah oksigen yang akan diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada secara biologi;
- b. Untuk mengetahui ukuran fasilitas unit pengolahan limbah
- c. Untuk mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan limbah ; dan
- d. Untuk mengetahui kesesuaiannya dengan batasan yang diperbolehkan bagi pembuangan air limbah.

- COD

*Chemical Oxygen Demand* merupakan analisis kimiawi yang dilakukan untuk mengukur ekuivalensi oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi materi organik dalam sampel air limbah menggunakan dikromat dalam larutan asam. Dalam analisis COD dilakukan proses oksidasi asam dari air limbah menggunakan potasium dikromat. Pada umumnya nilai COD akan lebih tinggi daripada BOD karena keberadaan senyawa pengoksidasi kuat akan mengoksidasi seluruh materi-materi biodegradable. Berikut ini adalah beberapa analisis COD dilakukan pada air limbah : (1) Beberapa materi organik yang tidak dapat dioksidasi secara biologi, seperti lignin, akan teroksidasi secara kimiawi, (2) materi anorganik yang teroksidasi oleh dikromat akan meningkatkan analisis terhadap kandungan organik dalam sampel, (3) materi-materi organik tertentu akan bersifat toksik terhadap mikroorganisme pada tes BOD, dan (4) nilai COD yang tinggi akan terjadi disebabkan oleh tingginya kadar materi-materi inorganik yang dioksidasi oleh dikromat (Metcalf & Eddy, 2004). Rasio COD/BOD<sub>5</sub> mengindikasikan biodegradabilitas dari air buangan, semakin tinggi rasio maka semakin rendah biodegradabilitas dari air buangan (Mark J Hammer, 2004). Rasio tertinggi menunjukkan bahwa materi organik yang digunakan sebagai substrat bersifat biodegradable sehingga memudahkan bakteri aerob untuk mengoksidasi substrat dan sesuai untuk pengolahan secara biologi. Rasio

terendah dipengaruhi aktivitas yang padat yang berasal dari hotel, apartemen dan mall yang akan mempengaruhi karakteristik dari air buangan yang dihasilkan. Jikalau sampel BOD mengandung zat racun, pertumbuhan bakteri terhalang maka angka BOD rendah.

- **Minyak dan Lemak**

Dalam air limbah kandungan minyak dan lemak harus disisihkan karena bila tidak akan mengganggu kehidupan biologi atau ekosistem air pada badan air penerima tempat dimana effluent air limbah dibuang. Selain itu, minyak dan lemak merupakan parameter yang wajib diperhatikan karena bersifat memiliki solubilitas rendah di air dan memiliki tendensi untuk memisah pada fase *aquous*. (Sawyer,2003). Minyak dan lemak akan membentuk lapisan pada permukaan air sehingga akan mengurangi intensitas cahaya masuk ke dalam air. Ketebalan minyak dan lemak mampu membentuk lapisan/film pada permukaan air ialah sekitar 0,0003048 mm (Metcalf & Eddy, 2004).

- **Nitrogen**

Nitrogen terdapat dalam limbah organik dalam berbagai bentuk yang meliputi empat spesifikasi, yaitu nitrogen organik, nitrogen amonia yang terdiri dari ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan amonia bebas ( $\text{NH}_3$ ), nitrogen nitrit dan nitrogen nitrat. Dalam air limbah yang dingin dan masih dalam kondisi segar, biasanya kandungan nitrogen organik relatif lebih tinggi daripada nitrogen amonia. Sebaliknya, dalam air limbah yang hangat kandungan nitrogen organik relatif lebih rendah daripada nitrogen amonia. Nitrit dan nitrat terdapat dalam air limbah dalam konsentrasi yang sangat rendah (Siregar, 2005).

Bentuk nitrogen	abbreviation	Definisi
Gas amonia	$\text{NH}_3$	$\text{NH}_3$
Ion amonium	$\text{NH}_4^+$	$\text{NH}_4^+$
Total nitrogen amonia	TAN*	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Nitrit	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_2^-$
Nitrat	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$
Total nitrogen inorganik	TIN*	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$
Total nitrogen Kjeldahl	TKN*	N organik + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Nitrogen organik	N* organik	TKN – ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ )
Total nitrogen	TN*	N organik + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$

\*semua bentuk hadir sebagai N

Sumber : Metcalf & Eddy (2004)

Umumnya sumber-sumber senyawa nitrogen adalah (1) senyawa nitrogen yang berasal dari tumbuhan dan hewan, (2) sodium nitrat, dan (3) nitrogen yang berasal dari atmosfer. Pada sistem perairan senyawa nitrogen dapat berupa nitrogen organik dan anorganik. Nitrogen terdapat sebagai amonia ( $\text{NH}_3$ ), amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), jumlah secara kuantitas dari nitrogen yang terakumulasi oleh tiap makhluk hidup baik hewan maupun tumbuhan bervariasi 1 sampai 10 persen dari total berat kering (*dryweight*) (Metcalf dan Eddy 1991).

- Nitrogen organik

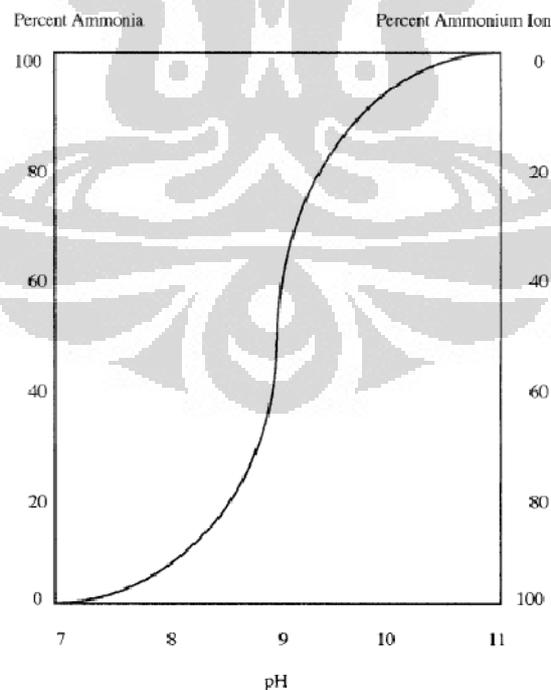
Semua nitrogen yang terdapat di dalam campuran organik dianggap sebagai nitrogen organik. Dalam air limbah domestik kebanyakan dari nitrogen organik berada dalam bentuk protein-protein yang diakibatkan oleh degradasi. Nitrogen menjadi amonia dalam pembusukan anaerobik sedangkan nitrit dan nitrat dalam pembusukan aerobik (Sihaloho, 2009). Gerardi (2002) menjelaskan bahwa senyawa organik yang mengandung nitrogen dianggap senyawa nitrogen organik. Sebuah contoh dari senyawa organik-nitrogen adalah urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ). Urea adalah komponen kimia utama dari urin. Senyawa organik seperti asam amino, protein, dan urea adalah senyawa utama nitrogen organik dalam air limbah domestik, sementara ion amonium adalah senyawa utama

anorganik dalam air limbah domestik. Sawyer (2003) menyebutkan bahwa protein merupakan nitrogen yang berada dalam bentuk organik (nitrogen organik). Sumber yang sama juga menyebutkan bahwa feses dari hewan mengandung sejumlah bahan protein yang tidak terasimilasi (nitrogen organik).

Nitrogen organik pada proses aerobik akan dikonversi menjadi nitrat (Jantrania, 2006)

- Amonia

Sarensen pada *The Removal Of Nitrogen Compounds* tahun 1993 mengemukakan bahwa amonia terbentuk dari dekomposisi materi organik. Amonia pada air limbah merupakan campuran gas amonia terlarut ( $\text{NH}_3$ ) dan ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) biasanya masing-masing disebut sebagai amonia bebas dan amonia ion (Mara, 2003). Total amonia merupakan  $\text{NH}_3$  dan  $\text{NH}_4^+$  (Gustin dan Logar, 2010). Menurut Metcalf dan Eddy (2003) keberadaan amonia di suatu larutan dalam bentuk ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan gas amonia terlarut ( $\text{NH}_3$ ) bergantung dari pH larutan, sesuai dengan reaksi kesetimbangan berikut :



Gambar 2.1 pH dan konversi dari amonia dan ion amonium.

Sumber : Gerardi 2002

Jumlah relatif amonia dan ion amonium di air ditentukan oleh pH dari air. pH air menurun ion amonium naik, pH dari air meningkat amonia naik, pada nilai pH 9,4 atau lebih tinggi amonia tersedia dalam jumlah yang banyak (Gerardi 2002). Amonia merupakan senyawa nitrogen yang mudah larut dalam air dan bersifat basa sehingga dalam air akan membentuk ammonium hidroksida (Zaman & Sutrisno, 2002). Amonia dapat bersifat racun bagi kehidupan akuatik walaupun dalam jumlah yang rendah. Amonia juga merupakan penyumbang dalam proses eutrofikasi dan menyebabkan kebutuhan oksigen yang tinggi pada badan air penerima (Siripong & Rittmann, 2007). Amonia bersifat sangat racun terhadap ikan, sedangkan amonium, bentuk amonia yang terionisasi tidak berbahaya. (Sorensen, 1993).

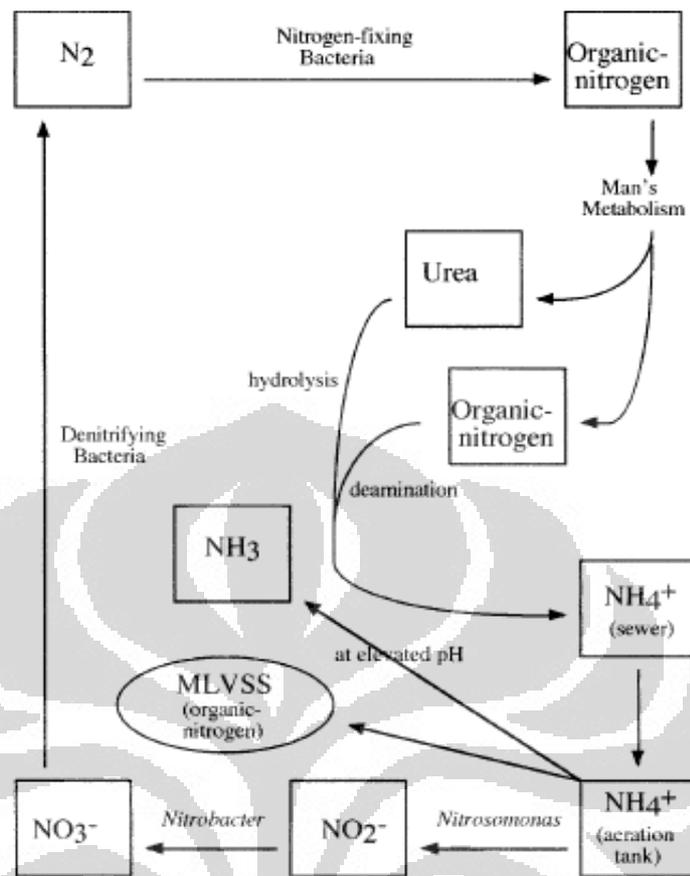
- Nitrat

Nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) adalah bentuk nitrogen yang dinamis dan merupakan bentuk yang paling dominan pada limpasan (run-off), sungai, keluarnya air tanah dan deposisi atmosfer ke laut. Nitrat merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan alga, nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil (Kirchman, 2000).

Nitrat adalah bentuk paling teroksidasi nitrogen (+5). Nitrat berasal dari limpasan dari penggunaan pupuk, pencucian dari tangki septik, limbah, dan erosi deposito alam. (Butterworth dan Heinemann, 2001).

- Nitrit

Nitrogen nitrit, ditentukan secara *colorimetrically*, umumnya bersifat tidak stabil dan mudah teroksidasi menjadi bentuk nitrat. Nitrit adalah salah satu indikator dari pencemaran dan jarang melewati 1 mg/L di air limbah. Walaupun hadir dalam konsentrasi yang rendah, nitrit sangat penting dalam air limbah dan studi pencemaran air karena sifatnya yang toksik terhadap ikan dan spesies akuatik lainnya (Metcalf & Eddy, 2003).



Gambar 2.2 Siklus Nitrogen pada Air Limbah

Sumber : Jantrania (2006)

#### 2.2.2.2 Konstituen Kimia Anorganik

Beberapa komponen anorganik dari air limbah dan air alami sangat penting untuk peningkatan dan pengawasan kualitas air minum. Jumlah bahan anorganik meningkat sejalan dan dipengaruhi oleh formasi geologis dari asal air atau air limbah. Bahan anorganik meliputi: pH, klorida, kebasaaan, sulfur, zat beracun, logam berat, metan, Nitrogen, fosfor, gas. Berikut adalah karakteristik kimia untuk konstituen kimia anorganik :

##### a. DO

*Dissolved Oxygen* dibutuhkan dalam proses respirasi mikroorganisme aerob dan bentuk kehidupan aerobik lainnya. Bila terjadi peningkatan reaksi kimia pada air limbah seiring dengan terjadinya peningkatan temperatur, yang tentu akan melibatkan penggunaan oksigen, maka level DO akan cenderung lebih rendah atau bahkan kritis pada musim panas. Permasalahan ini terjadi

pada musim panas dikarenakan *stream flow* yang terjadi umumnya rendah, sehingga kuantitas total ketersediaan oksigen juga menjadi rendah. Ketersediaan DO dalam air limbah sangat diperlukan karena dapat mencegah pembentukan *noxious* odor.

b. Bau

Bau umumnya disebabkan oleh gas yang dihasilkan dari dekomposisi materi organik atau substansi-substansi lain yang ditambahkan ke dalam air limbah. Karakteristik bau yang ditimbulkan dari air limbah yang bersifat *septic* ialah disebabkan kandungan sulfida yang dihasilkan oleh mikroorganisme anaerob yang mereduksi sulfat menjadi sulfida. Air yang mempunyai standar kualitas harus bebas dari bau atau tidak berbau. Adanya bau disebabkan oleh bahan-bahan organik yang dapat membusuk serta senyawa kimia lain seperti phenol. Jika air berbau maka akan mengganggu estetika (Sanropie, dkk, 1984).

c. pH (Tingkat Keasaman)

Konsentrasi ion hidrogen merupakan salah satu parameter yang penting pada air limbah. Rentang konsentrasi ion hidrogen yang sesuai untuk keberlangsungan kehidupan biologi dalam air limbah cukup rendah dan kritis yaitu antara 6-9. Air limbah dengan konsentrasi hidrogen yang ekstrim akan sulit untuk dilakukan pengolahan secara biologis, dan jika konsentrasi tersebut tidak diubah sebelum dilakukan pembuangan (*discharge*), maka effluent air limbah dengan konsentrasi ion hidrogen yang ekstrim akan sulit untuk dilakukan pengolahan secara biologi. Selain itu jika konsentrasi tersebut tidak diubah sebelum dilakukan pembuangan, maka effluent air limbah dapat mengubah tingkat keasaman dalam badan air penerima.

d. Nitrogen

Secara bersama-sama, antara nitrogen dan fosfor memberikan kenaikan yang perlu diperhatikan. Sebab bahan ini meningkatkan pertumbuhan algae dan tumbuhan air. Nitrogen dalam air dengan cepat akan berubah menjadi nitrogen organik atau amoniak nitrogen. Pemindahan dari nitrogen organik ke dalam amoniak juga dimasukkan dalam tipe pengolahan air limbah secara biologis. Amoniak kemudian digunakan oleh bakteri untuk sel tiruan

dengan menghasilkan oksidasi ke nitrit atau nitrat. Nitrit akan cepat berubah menjadi nitrat melalui oksidasi.

e. Alkalinitas

Alkalinitas dalam air limbah dihasilkan dari adanya hidroksida, karbonat, dan bikarbonat dari elemen-elemen seperti kalsium, magnesium, sodium, potasium, dan amonia. Diantara semuanya kalsium dan magnesium bikarbonat adalah yang paling umum (Metcalf & Eddy, 2004).

### 2.2.3 Karakteristik Biologi

Karakteristik biologi pada air limbah merupakan hal yang penting untuk diketahui karena digunakan untuk mengontrol potensi terjadinya penyakit-penyakit bagi kehidupan manusia yang ditimbulkan oleh organisme patogen. Selain itu, reaksi-reaksi dalam air limbah seperti dekomposisi juga banyak melibatkan bakteri dan mikroorganisme lainnya. Organisme patogen yang ditemukan dalam air limbah dapat bersumber dari manusia ataupun hewan yang terinfeksi oleh penyakit tertentu, atau yang menjadi pembawa (*carier*) untuk infeksi penyakit tertentu. Organisme patogen yang ditemukan dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi 4 kategori, antara lain ialah bakteri, protozoa, helmints, dan virus.

## 2.3 Air Limbah Domestik

### 2.3.1 Terminologi

Menurut PP No.82 Tahun 2001, air limbah merupakan sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Air limbah sendiri terbagi dalam 2 jenis yaitu yang pertama adalah yang disebut *greywater*, yaitu air limbah yang berasal dari buangan dapur, kamar mandi dan mencuci. Yang kedua disebut *blackwater*, yaitu limbah yang mengandung kotoran manusia, urine, dan lumpur yang dihasilkan berkaitan dengan buatan manusia. Air limbah domestik atau dapat pula disebut sebagai *sanitary* atau *domestic wastewater* merupakan cairan limbah yang berasal dari fasilitas sanitasi pada suatu bangunan.

### 2.3.2 Pengelolaan Air Limbah Domestik Gedung Perkantoran

Berdasarkan Peraturan Gubernur DKI 122/2005, pengelolaan air limbah domestik adalah upaya memperbaiki kualitas air yang berasal dari kegiatan perkantoran, sehingga layak untuk dibuang ke saluran kota atau drainase. Sedangkan pengolahan air limbah domestik adalah upaya mengolah dengan cara tertentu agar air limbah dari aktivitas di gedung perkantoran memenuhi baku mutu air limbah yang diterapkan. Baku mutu air limbah kegiatan perkantoran adalah batas kadar dan jumlah unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam air limbah untuk dibuang dari satu jenis kegiatan perkantoran.

### 2.3.3 Timbulan Air Limbah Perkantoran DKI Jakarta dan Pencemaran Air

Kualitas air di wilayah DKI Jakarta sudah mengkhawatirkan. Pemantauan yang dilakukan Badan Pengendalian Lingkungan Hidup (BPLH) di lima wilayah pada 2007 menunjukkan, baik air sungai maupun air tanah memiliki kandungan pencemar organik dan anorganik tinggi. Akibatnya, air sungai dan air tanah di DKI Jakarta tidak sesuai lagi dengan baku mutu peruntukannya yaitu air minum, perikanan, pertanian dan usaha perkotaan lainnya. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Dinas Pekerjaan Umum (PU) DKI Jakarta bersama-sama dengan Tim JICA (1989), jumlah unit air buangan dari buangan rumah tangga per orang per hari adalah 118 liter dengan konsentrasi BOD rata-rata 224 mg/L. Perkiraan jumlah air limbah di wilayah DKI Jakarta secara lengkap pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 Kondisi Air Limbah DKI Jakarta

Limbah	Jumlah Air Limbah Yang Dibuang (m <sup>3</sup> /hari)				Jumlah Limbah Spesifik (m <sup>3</sup> /)	
	Domestik	Perkantoran	Indutsri	Total		
Wilayah Jakarta						
(1987)						
	Pusat	179.432 (78.0)	45.741 (19.9)	4.722 (2.1)	229.895	46.4
	Utara	143.506 (68.6)	20.622 (9.9)	45.18 (21.6)	209.316	15.0
	Barat	210.790 (79.2)	35.770 (13.4)	19.42 (7.3)	265.984	20.6
	Selatan	247.350 (85.1)	35.146 (12.1)	8.015 (2.8)	290.511	19.9

	Timur	256.947 (80.2)	35.372 (11.0)	28.08 (8.8)	320.407	17.1
	Total	1.038.025 (78.9)	172.651 (13.1)	105.43 (8.0)	1.316.113	20.2
(2010)	Pusat	253.756 (67.0)	121.227 (32.0)	3.906 (1.0)135.485(29.3)	378.889	76.8
	Utara	266.233 (57.0)	60.298 (13.1)		462.016	33.1
	Barat	398.882 (76.6)	86.312 (16.6)	35.718 (6.9)	520.912	40.4
	Selatan	468.354 (84.0)	87.205 (15.6)	3.328 (0.4)	557.887	38.2
	Timur	495.461 (74.1)	93.891 (14.0)	79.914 (11.8)	668.546	35.6
	Total	1.882.686 (72.7)	448.993 (17.3)	256.631 (9.9)	2.588.250	39.7

Sumber : Kelair BPPT

Jumlah air buangan secara keseluruhan di DKI Jakarta diperkirakan sebesar 1.316.133 m<sup>3</sup>/hari yakni untuk air buangan domestik 1.038.205 m<sup>3</sup>/hari, buangan perkantoran dan daerah komersial 448.993 m<sup>3</sup>/hari dan buangan industri 105.437 m<sup>3</sup>/hari. Sedangkan untuk perkiraan beban polutan organik di Wilayah DKI Jakarta tahun 2010 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Beban Polutan Organik di Wilayah DKI Jakarta

Limbah	Jumlah Air Limbah Yang Dibuang (m <sup>3</sup> /hari)				Jumlah Limbah Spesifik (m <sup>3</sup> /	
	Domestik	Perkantoran	Indutsri	Total		
Wilayah Jakarta						
(1987)	Pusat	42.433 (76.9)	10.568 (19.1)	2.192 (4.0)	55.191	46.4
	Utara	34.159 (57.0)	4.763 (8.0)	20.970 (35.0)	59.892	15.0
	Barat	49.827 (74.3)	8.264 (12.3)	9.017 (13.4)	67.108	20.6
	Selatan	58.361 (83.1)	8.120 (11.6)	3.721 (5.3)	70.202	19.9
	Timur	60.486 (74.0)	8.173 (10.0)	13.30 (16.0)	81.696	17.1
	Total	245.264 (73.4)	39.888 (12.0)	48.937 (14.6)	334.089	20.2
(2010)	Pusat	57.216 (65.7)	28.004 (32.2)	1.806 (2.1) 62.615 (45.7)	87.026	76.8

Utara	60.604	(44.2)	13.929	(10.1)	16.505	(13.1)	137.148	33.1
Barat	89.917	(71.1)	19.937	(15.8)	1.075	(0.9)	126.359	40.4
Selatan	105.354	(83.2)	20.144	(15.9)	36.599	(21.6)	126.573	38.2
Timur	111.121	(65.6)	21.687	(12.8)	118.600	(18.3)	169.407	35.6
Total	424.212	(65.7)	103.701	(16.0)			646.513	39.7

Sumber : Kelair BPPT

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa untuk wilayah Jakarta, dilihat dari segi jumlah, air limbah domestik (rumah tangga) memberikan kontribusi terhadap pencemaran air sekitar 75%, air limbah perkantoran dan daerah komersial 15% dan air limbah industri hanya memberikan kontribusi sekitar 10%. Sedangkan dilihat dari polutan organik, air limbah rumah tangga sekitar 70%, air limbah perkantoran 14% dan air limbah industri memberikan kontribusi 16%. Dengan demikian air limbah rumah tangga dan air limbah perkantoran adalah penyumbang yang terbesar terhadap pencemaran air di wilayah DKI Jakarta. Dengan demikian air limbah rumah tangga dan air limbah perkantoran adalah penyumbang yang terbesar terhadap pencemaran air di wilayah DKI Jakarta.

#### 2.4 Estimasi Kuantitas Air Limbah Perkantoran

Data kebutuhan air bersih sangat dibutuhkan dalam mengestimasi jumlah air limbah perkantoran yang akan diolah. Kuantitas produksi air limbah akan bervariasi, tergantung pada kondisi cuaca, kebutuhan air bersih harian, dan tiap jam-nya. Berikut ini adalah beberapa kondisi umum yang mempengaruhi kebutuhan air bersih:

1. Pada hari kerja kebutuhan air bersih akan lebih tinggi daripada hari libur
2. Kondisi hari yang panas dan kering akan meningkatkan kebutuhan air bersih dibandingkan saat kondisi hari yang dingin atau hujan.
3. Pada kurun waktu 1 hari terdapat waktu-waktu tertentu saat terjadi puncak pemakaian air bersih yang tergantung pada aktivitas yang dilakukan.

Pada perhitungannya, estimasi kuantitas air limbah domestik dapat dilakukan melalui beberapa cara, diantaranya melalui:

1. Nilai rata-rata pemakaian air bersih yang bisa dihitung menggunakan meteran PAM,
2. Melalui perhitungan luasan efektif bangunan untuk mendapatkan jumlah populasi manusia kemudian dihitung dengan nilai debit pemakaian air bersih di gedung,
3. Perhitungan jumlah alat-alat plambing yang digunakan dan disesuaikan dengan frekuensi penggunaan alat-alat plambing tersebut, dan
4. Perhitungan langsung pada saluran inlet instalasi pengolahan secara langsung.

Berikut ini adalah nilai-nilai debit kebutuhan air bersih yang dapat digunakan sebagai acuan perhitungan.

Tabel 2.3 Tipe Besaran Populasi Equivalen (Pe) Berdasarkan Jenis Peruntukkan

Peruntukan bangunan	Pemakaian air bersih	Satuan	PE	acuan
Gedung kantor	50	Liter/pegawai/hari	0,33	SNI 03-7065-2005

Sumber : Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 122/2005

Tabel 2.4 Tipe Sumber Aliran Air Limbah dari Sumber Komersial

Source	Unit	Flowrate gal/unit d		Flowrate, L/unit d	
		Range	Typical	Range	Typical
Office	Employee	7 – 16	13	26- 60	50

Sumber : Metcalf & Eddy 2004

Sedangkan untuk frekuensi pemakaian air bersih dan penggunaan per jam alat plambing adalah sebagai berikut :

Tabel 2.5 Pemakaian Air dan Frekuensi Penggunaan Per Jam Alat Plambing

No	Alat plambing	Volume Pemakaisa Air Untuk Pngunaan 1 kali (L)	Frekuensi Penggunaan Per Jam
1	Kloset(dengan katup gelontor)	13,5-16,5	6-12
2	Kloset(dengan tangki gelontor)	13-15	6-12
3	Peturasan (dengan katup gelontor)	5	12-20
4	Peturasan 2-4 orang (dengan tangki gelontor)	9-18	12
5	Peturasan 5-7 orang	22,5-31,5	12
6	Bak cuci tangan kecil	3	12-20
7	Bak Cuci Tangan 5-7	10	6-12
8	Bak cuci dapur (sink) dengan keran 13mm	15	6-12
9	Bak cuci dapur (sink) dengan keran 20mm	25	6-12
10	Bak mandi rendam ( <i>bath tub</i> )	125	3
11	Pancuran mandi ( <i>shower</i> )	24-60	3

Sumber : Soufyan & Morimura 1985

Untuk estimasi debit air limbah menggunakan cara perhitungan jumlah alat-alat plambing dapat dilakukan dengan mendata seluruh alat-alat plambing yang digunakan pada bangunan tempat kegiatan sumber air limbah tersebut kemudian memperkirakan frekuensi pemakaian alat-alat plambing tersebut dalam kurun waktu 1 jam. Dari nilai pemakaian air rata-rata per orang (pegawai) setiap harinya, jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari yang digunakan untuk

gedung perkantoran ialah selama 8 jam (Soufyan M.N., 1993). Debit air limbah yang dihasilkan akan sangat bergantung dengan jenis kegiatan dari masing-masing sumber air limbah sehingga fluktuasi harian akan sangat bervariasi untuk masing-masing kegiatan.

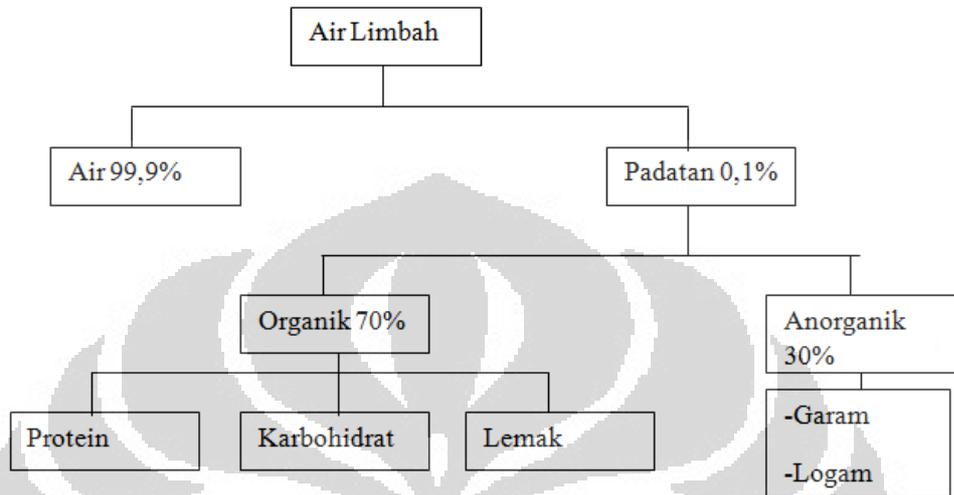
Berikut ini adalah jenis-jenis debit air limbah yang biasa dipakai dalam instalasi pengolahan air limbah berikut tujuan pengukurannya. Istilah-istilah ini saya peroleh dari buku *Wastewater Engineering 4th edition* (Metcalf & Eddy, 2004).

1. Debit harian rata-rata (*average daily flow*), berguna untuk mengetahui rasio debit dan untuk memperkirakan pemompaan dan biaya pengolahan kimia.
2. Debit jam minimum (*minimum hour*), berguna untuk mengetahui batas minimum kerja pompa dan rentang terendah *flow meter*.
3. Debit harian minimum (*minimum day*), berguna dalam penentuan ukuran saluran untuk menghindari terjadinya pengendapan solid.
4. Debit bulanan minimum (*minimum month*), berguna untuk menentukan jumlah minimum unit yang beroperasi saat terjadi aliran minimum serta untuk merencanakan jadwal *maintenance* instalasi (yang memerlukan *shutdown*).
5. Debit jam puncak (*peak hour*), berguna untuk menentukan ukuran fasilitas pemompaan dan saluran air limbah, menentukan ukuran unit-unit pengolahan fisik dan tangki kontak klorinasi, serta untuk perencanaan strategi dalam menghadapi debit yang tinggi.
6. Debit hari maksimum (*maximum day*), berguna untuk merencanakan ukuran tangki ekualisasi, sistem pemompaan lumpur, dan tangki kontak klorinasi.
7. Debit bulan maksimum (*maximum month*), berguna untuk pencatatan data dan pelaporan serta untuk menentukan ukuran fasilitas penyimpanan bahan-bahan kimia.

## 2.5 Karakteristik Air Limbah Perkantoran

Karakteristik air limbah perkantoran merupakan tipikal karakteristik air limbah domestik. Kualitas suatu air limbah akan dapat terindikasi dari kualitas parameter kunci, dimana parameter kunci tidak melebihi dari standar baku mutu yang ada sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Komposisi

bahan organik yang terdapat dalam air limbah domestik dapat dilihat secara rinci pada gambar diagram persentase komponen penyusun air limbah domestik berikut ini.



Gambar 2.1 Komposisi Komponen Penyusun Limbah Domestik

Sumber : Tebbut dalam effendi H, 2003

Mengingat air limbah domestik memiliki kandungan yang terbesar adalah bahan organik, maka parameter kunci yang umum digunakan adalah BOD, COD dan lemak/minyak. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, maka parameter kunci untuk air limbah domestik adalah BOD, TSS, pH serta Lemak & Minyak. Berikut adalah kualitas air limbah domestik menurut Metcalf & Eddy 2004

Tabel 2.6 Kualitas Air Limbah Domestik

Kontaminan	Satuan	Konsentrasi		
		Rendah	Medium	Tinggi
Total Solid (TS)	Mg/L	390	720	1230
Total Dissolved Solid (TDS)	Mg/L	270	500	860
Fixed	Mg/L	160	300	520
Volatil	Mg/L	110	200	340
Total Suspended Solid (TSS)	Mg/L	120	210	400
Fixed	Mg/L	25	50	85
Volatil	Mg/L	95	150	315
Settleable Solids	Mg/L	5	10	20
BOD 20	Mg/L	110	190	350
Total Organik Carbon	Mg/L	80	140	260
COD	Mg/L	250	430	800
Nitrogen (Total Sbg N)	Mg/L	20	40	70
Organik	Mg/L	8	15	25
Amoniak Bebas	Mg/L	12	25	45
Nitrit	Mg/L	0	0	0
Nitrat	Mg/L	0	0	0
Phospor (total sbg phospor)	Mg/L	4	7	12
Organik	Mg/L	1	2	4
Inorganik	Mg/L	3	5	10
Klorida	Mg/L	30	50	90
Sulfat	Mg/L	20	30	50
Minyak dan Lemak	Mg/L	50	90	100
VOCs	Mg/L	<100	100-400	>400
Total Coliform	No./100ml	$10^6$ - $10^8$	$10^7$ - $10^9$	$10^7$ - $10^{10}$
Fecal Coliform	No./100ml	$10^3$ - $10^5$	$10^4$ - $10^6$	$10^3$ - $10^8$

Sumber : Metcal &amp; Eddy 2004

## 2.6 Standar Baku Mutu

Menurut PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengendalian Pencemaran Air, Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke alam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan. Baku mutu air limbah bertujuan agar limbah tidak sampai mengganggu tatanan lingkungan hidup dan digunakan sebagai pedoman untuk menentukan besarnya polutan yang harus di olah dan digunakan dalam merencanakan dimensi unit pengolahan. Untuk karakteristik air limbah perkantoran dapat digolongkan pula berdasarkan baku mutu air limbah domestik.

Baku mutu air limbah dijadikan salah satu kriteria teknik dalam upaya perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah, sehingga memenuhi standar baku mutu yang dipersyaratkan sebelum dibuang ke badan air penerima.

Ada dua 2 metode dalam penerapan standar tersebut yaitu :

1. *Stream Standard* adalah baku mutu yang menetapkan kadar parameter pencemar yang diperbolehkan berada dalam suatu badan air tanpa memperhatikan jumlah dan kualitas air buangan yang dihasilkan oleh sumber pencemar yang membuang air buangannya ke badan air tersebut. Di Indonesia, *Stream Standard* yang berlaku adalah Keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 582 tahun 1995 tentang target operasional yang harus dicapai pada tahun 2000 air sungai di DKI Jakarta.

2. *Effluent Standard* adalah baku mutu yang menetapkan kadar parameter pencemar yang di ijinan dibuang oleh suatu sumber pencemar. Setelah melalui proses pengolahan di instalasi, selanjutnya air hasil olahan pun juga harus memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan dan disesuaikan dengan peruntukkan badan air penerima.

Di Gedung Kantor Pusat Pertamina digunakan standar baku mutu dari Peraturan Gubernur DKI Nomor 122 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta.

Berikut ini adalah parameter dan baku mutu yang di tetapkan :

Tabel 2.7 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Satuan	Individual/Rumah Tangga	Komunal
pH	-	6-9	6-9
KmnO <sub>4</sub>	Mg/L	85	85
TSS	Mg/L	50	50
Amoniak	Mg/L	10	10
Minyak dan Lemak	Mg/L	10	10
Senyawa Biru Metilen	Mg/L	2	2
COD	Mg/L	100	80
BOD	Mg/L	75	50

Sumber : Peraturan Gubernur DKI Nomor 122 Tahun 2005

## 2.7 Pengolahan Air Limbah Perkantoran

Dalam pengolahan air limbah terdapat berbagai macam unit-unit pengolahan yang dapat digunakan, dan secara umum dapat diklasifikasi menjadi 2 macam unit pengolahan, antara lain ialah unit operasi dan unit proses. Unit operasi digunakan dalam pengolahan air limbah melalui pemanfaatan gaya-gaya fisik. Unit-unit operasi yang umum digunakan dalam pengolahan air limbah diantaranya ialah; screening, pereduksi ukuran partikel, ekualisasi debit aliran, koagulasi dan flokulasi, grit removal, sedimentasi, high-rate clarification, accelerated gravity separation, floatation, transfer oksigen, aerasi, dan volatilisasi & stripping VOCs (Metcalf & Eddy, 2004).

Unit pengolahan lainnya yaitu unit proses digunakan dalam pengolahan air limbah melalui pemanfaatan reaksi-reaksi kimia. Unit-unit proses penting yang umum digunakan dalam pengolahan air limbah antara lain ialah *chemical*

*precipitation, disinfection, dan oxidation, advanced oxidation process, ion exchange*, serta netralisasi, pengontrolan skala, dan stabilisasi bahan kimia.

Pada satu kesatuan instalasi pengolahan air limbah, unit operasi dan proses bersinergi dalam satu sistem untuk menghasilkan level pengolahan air limbah melalui tahapan yang berbeda-beda. Tahapan tersebut antara lain ialah pra-pengolahan (*preliminary treatment*), pengolahan primer (*primary treatment*), pengolahan sekunder (*secondary treatment*), dan pengolahan tersier (*tertiary /advanced treatment*).

### 2.7.1 Pra Pengolahan (*Preliminary Treatment*)

Pada tahapan pra-pengolahan, materi-materi padatan disisihkan karena berpotensi mengganggu performa alat-alat pengolahan yang digunakan, atau dapat menyebabkan permasalahan dalam hal perawatan dan operasional pengolahan dalam instalasi air limbah. Materi-materi padatan tersebut antara lain ialah kayu, benda-benda besar mengapung, grit, dan minyak & lemak. Unit-unit yang biasa digunakan dalam tahapan ini antara lain ialah

#### a. Unit Screening & Shredding

Unit *screening* yang umum digunakan dalam instalasi pengolahan air limbah adalah jenis *coarse screen* yang selanjutnya biasa disebut dengan *bar racks* atau *bar screen*. *Coarse screen* ini digunakan untuk melindungi pompa, keran (*valve*), pipa, dan alat-alat pengolahan lain dari bahaya penyumbatan oleh material-material padatan besar, dan umumnya diletakkan sebelum aliran mendekati (di depan) pompa atau unit *gritremoval*. Dan untuk instalasi pengolahan air limbah skala kecil hingga sedang, jenis *hand-cleaned coarse screen* adalah yang paling umum diterapkan..

#### b. *Comminutor*

Pada unit *screening* terkadang terjadi proses pencacahan yang dilanjutkan dengan pengembalian air limbah ke alirannya. Untuk tujuan ini, umumnya digunakan alat pencacah yang disebut *comminutor*. *Comminutor* biasanya diletakkan sejalan dengan jalur aliran dan mengintersepsi padatan kasar serta mencacahnya menjadi berukuran kurang lebih 8 mm (Peavy, Rowe, dan Tchobanoglous, 1985).

### 2.7.2 Pengolahan Primer (*Primary Treatment*)

Pada tahap pengolahan primer umumnya diterapkan pengolahan secara fisik, contohnya ialah koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Tahapan ini pada intinya ialah menyisahkan materi padatan tersuspensi dan materi organik dalam air limbah.

#### a. Unit Koagulasi (*Continuous Rapid Mixing*)

Unit koagulasi dilakukan melalui mekanisme *continuous rapid mixing* berfungsi untuk mencampur bahan kimia koagulan ke dalam air limbah. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan densitas dari partikel koloid yang terdispersi dalam air limbah sehingga partikel tersebut dapat mengendap dan selanjutnya dapat disisahkan secara fisik. Saat koagulan dicampurkan ke dalam air limbah, maka akan terjadi destabilisasi koloid. Mekanisme *continuous rapid mixing* dibutuhkan untuk menciptakan pencampuran dan agitasi yang intens yang dibutuhkan untuk mendispersi koagulan secara uniform di seluruh tangki pengolah dan untuk menciptakan kontak yang cukup antara koagulan dengan partikel tersuspensi.

#### b. Unit Flokulasi (*Slow Mixing*)

Merupakan unit operasi pengolahan air limbah yang digunakan untuk menyatukan mikroflok-mikroflok yang terbentuk dari proses koagulasi menjadi flok dalam ukuran yang lebih besar, sehingga dapat mengendap akibat densitasnya meningkat. Dalam operasi ini, mekanisme pencampuran atau agitasi dilakukan dalam kecepatan yang relatif lebih rendah (*slow mixing*) dibandingkan pada unit koagulasi agar flok-flok yang sudah terbentuk tidak mudah pecah.

#### c. Unit Aerasi

Aerasi merupakan salah satu proses dari transfer gas yang lebih di khususkan pada transfer oksigen dari fase gas ke fase cair. Fungsi utama aerasi dalam pengolahan air adalah melarutkan oksigen ke dalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air dan melepaskan kandungan gas-gas yang terlarut dalam air serta membantu pengadukan air. Peavy (1985) menyatakan bahwa aerasi digunakan untuk menambahkan oksigen ke dalam air

buangan. Selanjutnya kinerja unit aerasi akan dibahas pada parameter kinerja unit pengolahan.

Jumlah kebutuhan oksigen untuk proses aerasi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$R_o = a' \cdot BOD_R + b' \cdot X$$

dimana:

$R_o$  = Jumlah oksigen yang diperlukan (kg/hari)

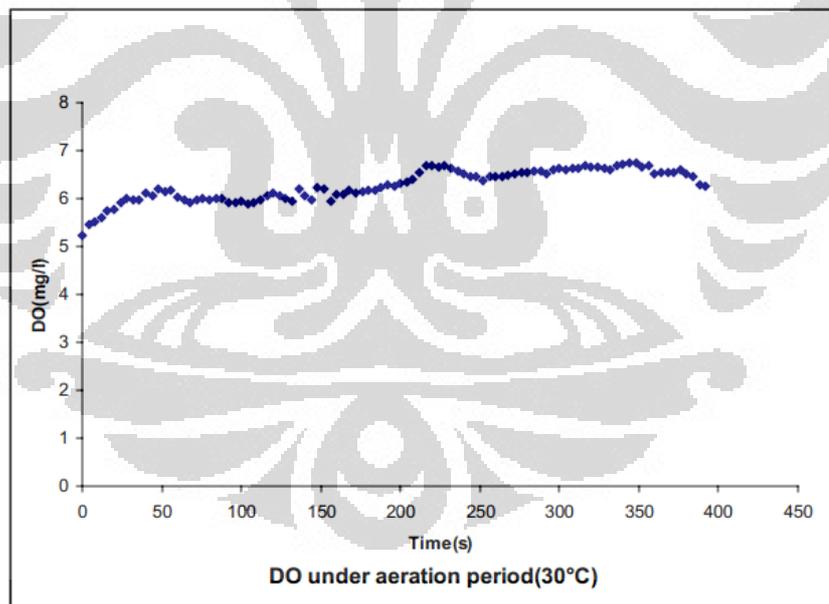
$a'$  = Jumlah oksigen yang dikonsumsi per jumlah BOD yang dihilangkan (kg-O<sub>2</sub>/BOD). Biasanya  $a' = 0,42$

$BOD_R$  = Jumlah BOD yang dihilangkan (kg-BOD/hari)

$b'$  = Oksigen yang dikonsumsi oleh respirasi endogeneous (kg-O<sub>2</sub>/kg-MLSS). Biasanya harga  $b' = 0,12$

$X$  = Jumlah MLSS di dalam bak aerasi.

Berikut adalah gambaran kandungan oksigen selama periode aerasi pada *activated sludge* :



Gambar 2.2 Konsentrasi DO pada periode aerasi

Sumber : Gautam, 2007

#### d. Unit Sedimentasi Primer

Sedimentasi primer adalah unit operasi yang di desain untuk mengkonsentrasikan dan menghilangkan padatan organik tersuspensi dari air limbah. Sedimentasi primer berlangsung dalam kondisi bak yang relatif tenang dan dalam kondisi normal, unit operasi ini mampu menghilangkan 50-70% padatan tersuspensi dan 25-40% BOD<sub>5</sub> (Metcalf & Eddy, 2004). Secara umum, tipe sedimentasi primer terdiri atas 3 jenis yaitu (1) horizontal flow, (2) solids contact, dan (3) inclined surface. Pada penjernih (clarifier) jenis aliran horizontal, gradien kecepatan secara dominan berada di arah horizontal, yang secara fisik dapat berupa persegi panjang (rectangular), persegi empat (square), maupun sirkular (circular).

Menurut Qasim (1985), keuntungan penggunaan penjernih persegi panjang (rectangular clarifier) dibandingkan penjernih sirkular (circular clarifier) di antaranya adalah : (1) membutuhkan area yang lebih sedikit ketika beberapa unit dioperasikan, (2) memberikan keuntungan ekonomi dengan menggunakan *common walls* untuk beberapa unit, (3) lebih mudah dalam mengontrol bau, (4) menyediakan waktu perjalanan yang lebih panjang untuk terjadinya pengendapan, (5) menyediakan lebih sedikit sirkuit pendek, (6) menghasilkan kehilangan yang lebih sedikit di bagian inlet dan outlet, (7) membutuhkan konsumsi tenaga yang lebih sedikit untuk pengumpulan dan penghilangan lumpur. Meskipun demikian keuntungan tersebut juga diikuti kerugian diantaranya : (1) adanya kemungkinan area mati (*dead spaces*), (2) sensitif terhadap peningkatan debit secara tiba-tiba

Pada beberapa instalasi pengolahan air limbah, setelah dilakukan pengolahan pada tahapan primer, diterapkan pula pengolahan primer lanjutan (advanced primary treatment). Fungsi diterapkannya tahap pengolahan ini ialah untuk meningkatkan level penyisihan padatan tersuspensi dan materi organik dalam air limbah..

Sedangkan, pada sedimentasi sekunder biomassa yang dihasilkan dari pengolahan sekunder merepresentasikan sejumlah beban organik yang harus dihilangkan agar dapat memenuhi standar effluen yang telah diterapkan. Pada

sistem lumpur aktif, padatan yang dihasilkan dari pengolahan sekunder tersebut dihilangkan dengan menggunakan unit operasi sedimentasi sekunder.

Kriteria desain untuk sedimentasi sekunder dari lumpur aktif tipe extended aeration selanjutnya dapat dilihat pada tabel 2.11 :

Tabel 2.8 Kriteria Desain Sedimentasi Sekunder

Laju Overflow ( $m^3/m^2 \cdot \text{hari}$ )		Beban ( $kg/m^2 \cdot \text{hari}$ )		Kedalaman (m)
Rata-rata	Puncak	Rata-rata	Puncak	
8 – 16	24 – 32	1.0 – 5.0	7.0	3.5 – 6

Sumber : Metcalf & Eddy, 2004

### 2.7.3 Pengolahan Sekunder (*Secondary Treatment*)

Effluen yang berasal dari pengolahan primer masih mengandung 40 sampai 50 persen jumlah padatan tersuspensi dan secara virtual seluruh padatan terlarut dan padatan inorganik (Peavy, Rowe, & Tchobanoglous, 1987). Untuk memenuhi standar baku mutu, fraksi organik ini, baik padatan tersuspensi maupun padatan terlarut harus direduksi. Penghilangan organik ini mengacu pada pengolahan sekunder, yang dapat terdiri dari proses kimia-fisika maupun proses biologis. Kombinasi dari operasi kimia-fisika seperti koagulasi, *microscreening*, filtrasi, oksidasi kimia, adsorpsi karbon, dan proses lain dapat digunakan untuk menghilangkan padatan dan mereduksi BOD sampai pada batas yang di terima. Meskipun demikian proses ini merupakan opsi yang berbiaya tinggi secara kapital maupun operasional sehingga jarang digunakan. Pada prakteknya, proses biologis merupakan proses yang umum digunakan sebagai pengolahan sekunder bagi air limbah perkotaan.

Mekanisme pengolahan secara biologi layak untuk dilakukan pada air limbah karena hampir seluruh air limbah mengandung konstituen-konstituen yang dapat terdegradasi secara biologi (biodegradeable). Sasaran dari pengolahan air limbah secara biologi antara lain ialah:

1. Mentransformasi konstituen terlarut dan biodegradeable particulat menjadi produk akhir yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan,
2. Menyatukan padatan koloid tersuspensi dan yang bersifat *non settleable* menjadi flok atau biofilm,
3. Mentransformasi atau menyisahkan kandungan nutrien,dan
4. Pada beberapa penerapan pengolahan, menyisahkan konstituen organik spesifik dengan kandungan yang kecil dalam air limbah. (Metcalf & Eddy, 2004).

Prinsip dasar pengolahan secara biologi adalah mengubah bahan-bahan pencemar tersuspensi maupun terlarut dalam air limbah, menjadi bentuk lain berupa gas maupun jaringan sel yang dapat dipisahkan secara fisik seperti pengendapan (Metcalf dan Eddy ,2004). Proses pengolahan air limbah secara biologi dapat dibagi menjadi 2 kategori utama :

a. *Suspended Growth*

Pada proses *suspended growth*, mikroorganisme yang berperan dalam pengolahan berada dalam suspensi likuid air limbah melalui pencampuran yang sesuai. Proses *suspended growth* yang banyak diterapkan pada pengolahan limbah domestik dioperasikan dalam keadaan aerob melalui proses *activated-sludge*. pada proses *suspended growth* penerapan yang umum digunakan adalah proses *activated-sludge*.

b. *Attach Growth*

Pada proses *attached growth* mikroorganisme yang berperan mengkonversi materi organik atau, hidup dan berkembang menyatu pada material inert tertentu. Materi organik dan disisahkan saat air limbah mengalir melewati material inert tersebut.

Materi yang digunakan sebagai tempat hidup dan pertumbuhan mikroorganisme antara lain ialah batu, gravel, pasir, kayu, plastik, dan materi sintetik. Proses *attached growth* dapat berlangsung aerobik maupun anaerobik, dan material inert yang digunakan sebagai tempat hidup mikroorganisme dapat terendam sepenuhnya dalam air limbah ataupun tidak terendam. Penerapan proses *attached growth* yang umum dilakukan adalah *trickling filter*. Pada *trickling filter*, air limbah dialirkan secara merata dari

atas tangki yang berisi material inertnya. Batu merupakan material inert (*packing material*) yang umum digunakan pada *trickling filter*.

Terdapat berbagai macam konstituen residu yang masih bisa didapatkan terkandung dalam air limbah setelah tahap pengolahan sekunder dilakukan. Jenis dan konsentras konstituen residu itulah yang akan menentukan pemilihan dan desain teknologi pengolahan tersier yang akan diterapkan. Seperti contohnya, efluent pengolahan air limbah dengan kandungan materi anorganik terlarut seperti amonia, nitrat, fosfor, dan total padatan terlarut, yang penting untuk dilakukan pengolahan tambahan karena efeknya yang dapat mengakselerasi terjadinya eutrofikasi pada badan air penerima, dapat diolah menggunakan proses kimia atau membrane filtration. Selain itu, penyisihan koloid & padatan tersuspensi organik dan organik seperti contohnya konstituen padatan tersuspensi, padatan koloid, dan materi organik partikulat dapat dilakukan dengan filtrasi. Operasi filtrasi secara umum diklasifikasi menjadi 3, yaitu: (1) deep filtration, (2) surface filtration, (3) membrane filtration. Untuk penyisihan konstituen organik terlarut, seperti contohnya total karbon organik (TOC), *refractory organics*, dan VOCs, dapat dilakukan antara lain melalui adsorpsi, *reverse osmosis*, *chemical precipitation*, *chemical oxidation*, *advance chemical oxidation*, *electrodialysis*, dan distilasi. Selanjutnya, penyisihan konstituen biologi, seperti contohnya bakteri, protozoa, dan virus, dapat dilakukan dengan *reverse osmosis*, *electrodialysis*, distilasi, atau teknologi lainnya yang umumnya dilakukan pula proses desinfeksi didalamnya.

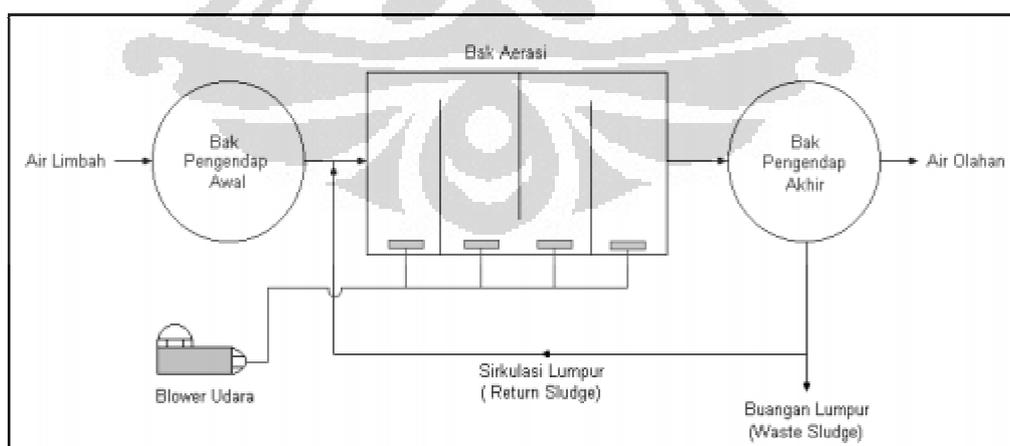
## 2.8 Pengolahan Biologis

Terdapat beberapa macam pengolahan biologis. Pada bagian ini akan dibahas mengenai *activated sludge*. Proses pengolahan dasar dari *activated sludge* dibagi menjadi 3 jenis, antara lainialah: (1) proses dengan reaktor yang menggunakan mikroorganisme yang dijaga dalam suspensi dengan adanya operasi aerasi, (2) pemisahan antara padatandengan likuid, umumnya dilakukan pada tangki sedimentasi, dan (3) sistem recycle dengan mengembalikan padatan dari unit pemisahan untuk kembali ke reaktor. Proses yang terjadi ialah air limbah yang masuk ke dalam reaktor aerasi dicampur dengan *recycled activated sludge*.

Dari dasar pengolahan tersebut telah banyak jenis konfigurasi proses yang dibuat dan diterapkan sebagai unit pengolahan biologi *activated sludge*. Terdapat berbagai macam modifikasi dari proses *activated sludge*, antara lain: *sequencing batch reactors*, *oxidation ditch system*, *aerated lagoon*, dan *stabilization ponds*. Secara umum, influent air limbah yang masuk ke unit *activated sludge* telah mengalami sedimentasi primer (*primary sedimentation*) terlebih dahulu. Sedimentasi primer dapat berfungsi untuk menyisahkan materi organik terlarut, koloid, ataupun partikulat (tersuspensi), sebagai unit untuk proses terjadinya nitrifikasi dan denitrifikasi biologi, dan untuk menyisahkan kandungan fosfor biologi. Akan tetapi, untuk pengolahan air limbah domestik pada skala kecil, pengolahan primer biasanya tidak dilakukan karena keterbatasan-keterbatasan tertentu seperti faktor tempat dan operasional. Selain itu, penerapan unit pengolahan primer pada daerah-daerah dengan iklim yang kering dan panas jarang dilakukan bila bau yang muncul dari tangki pengolahan primer tersebut dan lumpur cukup signifikan.

### 2.8.1 Lumpur Aktif Konvensional

Umur lumpur pada sistem ini dapat bervariasi antara 5 -15 hari. Pada musim dingin dapat menjadi lebih lama dibandingkan musim panas (U.S EPA,1997). Berikut adalah diagram alir proses pengolahan dengan sistem lumpur aktif konvensional :

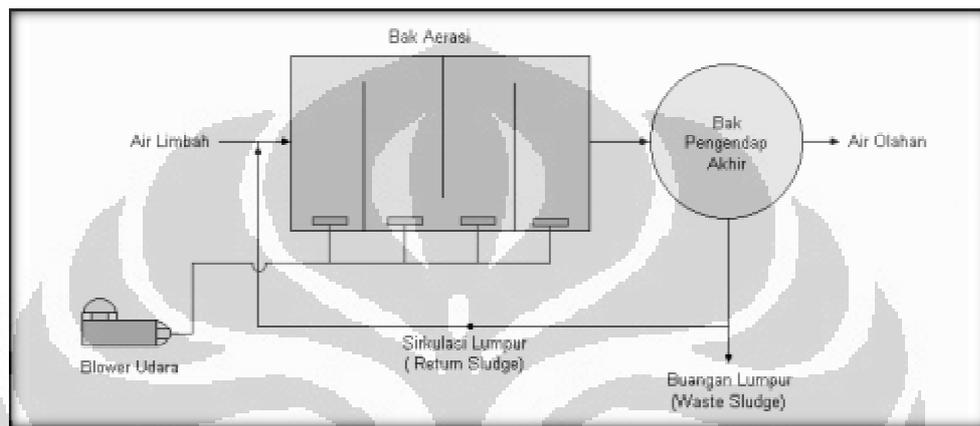


Gambar 2.3 Diagram Alir Proses Pengolahan Lumpur Aktif

Sumber : Japan Sewage Work Assosiation

### 2.8.2 Lumpur Aktif Tipe *Extended Aeration*

Lumpur aktif tipe *extended aeration* memiliki ciri khas waktu tinggal (*detention time*) yang relatif lama dan rasio makanan berbanding mikroorganisme (*Food to microorganism ratio*) rendah untuk menjaga kultur berada di fase *endogeneous* (Peavy, Rowe, Tchobanoglous, 1985). Berikut adalah diagram proses pengolahan air limbah sistem lumpur aktif dengan *extended aeration* :



Gambar 2.4 Diagram Alir Proses Pengolahan Lumpur Aktif *Extended Aeration*  
Sumber : Japan Sewage Assosiation

Kriteria desain untuk lumpur aktif tipe *extended aeration* selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.12 di bawah ini :

Tabel 2.9 Kriteria Desain Lumpur Aktif *Extended Aeration*

Parameter	Kode	Satuan	Kriteria Desain	Sumber
Waktu Retensi Lumpur (Sludge Retention Timer)	$\theta_c$	(Hari)	20 – 40	2
<i>Food to microorganism Ratio</i>	F/M ratio		0.04 – 0.10	2
Beban BOD				
BOD-MLSS Loading		kg/kg/hari	0.04-0.1	2
BOD –Volume Loading		kg/m <sup>3</sup> .hari	0,1-0,3	2
		kg/m <sup>3</sup> .hari	0,16-0,4	1

<i>Mixed Liquor Suspended Ratio</i>		(mg/L)	2000-5000	2
Periode Aerasi		Jam	20 – 30	3
Rasio Sirkulasi Lumpur	$\frac{Q_{lumpur}}{Q_{limbah}}$	-	0.5 - 2	3
<i>Endogenous Decay Rate Constant</i>	Kd	/hari	0.03 – 0.07	1
<i>Yield Coefficient</i>	Y	$\frac{kg\ biomass}{kg\ BOD_5}$	0.4 – 0.8	2
Kandungan padatan dalam Lumpur	X	mg/L	4000 – 12000	
Efisiensi Pengolahan BOD <sub>5</sub>		%	85 – 95	
Waktu tinggal Hidrolik Bak Aerasi		Jam	18-36 20-30	1 2

Sumber : 1. Tom D. Reynold & Paul A. Richard,1995, 2. Metcalf&Eddy, 2004 3.

Qasim , 1985

## 2.9 Parameter Kinerja Unit Pengolahan

Performa dari proses biologi yang digunakan dalam pengolahan air limbah akan bergantung pada pertumbuhan mikroorganisme dan dinamika pengolahan substrat dalam air limbah tersebut. Operasi dan proses pada suatu sistem instalasi akan efektif bilan prinsip-prinsip dasar yang berhubungan dengan pertumbuhan mikroorganisme dapat di terapkan dengan baik. Berikut ini akan dijelaskan parameter kinerja pengolahan khususnya dalam proses *activated sludge* :

### a. Laju beban BOD

Laju Beban BOD adalah jumlah BOD yang diaplikasikan atau masuk ke dalam volume bak aerasi per hari (kg/m<sup>3</sup>.hari). Laju beban tersebut dapat bervariasi mulai dari 0.3 hingga lebih dari 3.0. Secara umum semakin besar laju beban BOD menyebabkan tingginya kebutuhan laju oksigen transfer per unit volume dari sistem aerasi ( Metcalf dan Eddy,2004).

$$\text{LajuBebanBOD} = \frac{QS_0}{V} \quad (2.1)$$

Keterangan :

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

$S_0$  = influen konsentrasi BOD ( $g/m^3$ )

$V$  = volume bak aerasi ( $m^3$ )

b. Waktu tinggal hidrolis (hydraulic detention time, HDT)

Waktu tinggal hidrolis (hydraulic detention time, HDT) merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh influen masuk dalam tangki aerasi untuk proses lumpur aktif, dan nilainya akan berbanding terbalik dengan laju pengenceran. Berikut ini adalah perhitungannya (Reynold & Richard, 1995)

$$HRT = \frac{1}{D} = \frac{V}{Q} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$V$  = volume reaktor ( $m^3$ )

$Q$  = Debit air limbah masuk ke tangki aerasi ( $m^3/jam$ )

$D$  = laju pengenceran (1/jam)

c. *Food to microorganism ratio* (F/M ratio)

*Food to Microorganism ratio* (F/M ratio) adalah paramater proses yang umum digunakan untuk mengkarakterisasi proses desain dan kondisi operasi. Nilai tipikal untuk BOD F/M ratio dilaporkan dalam literatur bervariasi dari 0.04 g substrat/g biomassa.hari untuk *proses extended aeration* hingga 1.0 g/g.hari untuk proses high rate. BOD F/M radio biasanya dievaluasi untuk sistem yang didesain berdasarkan SRT untuk menghasilkan titik referensi terhadap desain lumpur aktif sebenarnya dan performa operasi (Metcalf dan Eddy, 2004). Semakin rendah rasio F/M makin efisien pengolahan limbahnya.

$$F/M = \frac{QS_0}{XV} \quad (2.3)$$

Keterangan ;

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

$S_0$  = influen konsentrasi BOD

$X$  = Mixed Liquor Konsentrasi Biomassa di dalam bak aerasi ( $g/m^3$ )

$V$  = Volume bak aerasi

d. Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

Padatan biomassa di dalam bioreaktor umumnya diukur menggunakan total *suspended solids* (TSS) dan *volatile suspended solids* (VSS). Campuran dari padatan yang dihasilkan dari kombinasi sirkulasi lumpur dengan influen air limbah di dalam bioreaktor adalah *mixed liquor suspended solids* (MLSS) dan *mixed liquor volatile suspended solids* (MLVSS) (Metcalf dan Eddy, 2004).

Didalam tangki aerasi pada pengolahan *activated sludge* adalah berisi campuran antara air limbah dengan lumpur aktif yang dikembalikan ke dalam reaktor, campuran ini disebut *mixed liquor*. Selanjutnya, MLSS merupakan kandungan padatan tersuspensi yang terdiri atas biomassa (campuran mikroorganisme dengan konstituen organik dan mineral)

e. Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS).

MLVSS merupakan porsi material organik pada MLSS yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup & mati, dan hancuran sel. MLVSS diukur dengan terus memanaskan sampel filter yang telah kering pada suhu 600 – 650 °C. Untuk proses lumpur aktif yang baik, nilai MLVSS adalah mendekati 65 – 75 % dari MLSS

f. Kebutuhan Oksigen

Oksigen dibutuhkan untuk biodegradasi dari *carbonaceous* material yang ditentukan dari kesetimbangan massa menggunakan konsentrasi bCOD dari air limbah yang diolah dan jumlah dari biomassa yang dibuang dari sistem setiap harinya. Jika semua bCOD teroksidasi menjadi  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan  $NH_3$ , kebutuhan oksigen akan sama dengan konsentrasi bCOD. Tetapi, bakteri mengoksidasi sejumlah dari bCOD menjadi energi dan menggunakan

sebagian dari bCOD untuk pertumbuhan sel. Oksigen juga dikonsumsi untuk *endogenous respiration*, dan jumlahnya akan tergantung sistem SRT. Untuk nilai SRT yang diberikan, kesetimbangan massa pada sistem dapat dilakukan dengan bCOD removal sama dengan oksigen yang digunakan ditambah biomassa VSS yang tersisa dalam istilah oksigen ekuivalen (Metcalf & Eddy, 2004)

$$O_2 \frac{kg}{hari} = \frac{Q(S_0 - S)}{\frac{BOD_5}{BOD_L}} - 1,42 P_x \quad (2.4)$$

Keterangan

Q = debit influen air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

S<sub>0</sub> = Influen konsentrasi sBOD<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>)

S = effluen konsentrasi sBOD<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>)

P<sub>x</sub> = limbah lumpur aktif, VSS (kg/hari)

g. Umur lumpur (*sludge age*)

Umur lumpur menunjukkan waktu tinggal rata-rata mikroorganisme dalam sistem lumpur aktif. Sel mikroba dalam bak aerasi memerlukan waktu tinggal dalam hitungan hari. Parameter ini berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan mikroba. Semakin lama umur lumpur maka akan meningkatkan efisiensi proses. Semakin lama umur lumpur maka waktu kontak lumpur dengan limbah semakin lama sehingga proses perombakan berlangsung dalam waktu lama dan pencemar yang dirombak juga semakin banyak. Umur Lumpur dapat diatur dengan mengubah kecepatan resirkulasi lumpur atau dengan mengatur jumlah lumpur yang dibuang (Nyoman, 1996).

Berikut ini adalah perhitungannya (Qasim, Syed R, 1985, p. 306) :

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{QY(S_0 - S)}{V \cdot x} - k_d \quad (2.5)$$

Keterangan :

x : mixed liquor suspended solid (kg/m<sup>3</sup>)

V : Volume reaktor (m<sup>3</sup>)

θ<sub>c</sub> : Umur lumpur (hari)

k<sub>d</sub> : Endogenous decay rate constant (1/hari)

Y : Konstanta kinetik (kg biomassa/kg BOD5)

Q : Debit influent limbah (m<sup>3</sup>/hari)

So : BOD influent (mg/L)

S : BOD efluent (mg/L)

Umur lumpur dapat bervariasi antara 20 – 40 hari untuk sistem lumpur aktif *extended aeration*. Parameter penting yang mengendalikan operasi lumpur aktif adalah beban organik atau beban BOD, suplai oksigen, dan pengendalian serta operasi bak pengendapan akhir. Bak pengendapan akhir ini mempunyai 2 fungsi yaitu sebagai penjernihan dan pemekatan lumpur.

h. Massa dan Volume Pembuangan Lumpur Per Hari

Rumus massa dan volume pembuangan lumpur per hari yaitu : (Peavy, Howard S & Rowe, 1985)

$$\theta_c = \frac{\text{mass of solids in reactor}}{\text{mass of solids wasted}} = \frac{V \cdot x}{Q_w \cdot x_u} \quad (2.7)$$

Keterangan :

x : mixed liquor suspended solids (kg/m<sup>3</sup>)

V : Volume reaktor (m<sup>3</sup>)

$\theta_c$  : Umur lumpur (hari)

$x_u$  : Kandungan padatan dalam lumpur (mg/L)

$Q_w$  : Volume pembuangan lumpur per hari (m<sup>3</sup>/hari)

i. *Standard Oxygen Requirement* (SOR), faktor koreksi kelarutan oksigen, dan temperatur rata-rata air limbah di bak aerasi pada kondisi lapangan (Qasim, Syed R, 1985)

$$SOR \text{ kg} / d = \frac{N}{\left[ \frac{C'_{sw} \beta F_a - C'_l}{C_{sw}} \right] (1,024)^{T-20} \alpha} \quad (2.8)$$

$$F_a = \left( 1 - \frac{\text{altitude.m}}{9450} \right) \quad (2.9)$$

$$T = \frac{AfT_a + QT_i}{Af + Q} \quad (2.10)$$

Keterangan

N : Kebutuhan oksigen teori

$C_{sw}$  : Kelarutan oksigen dalam air keran pada kondisi standar 20 °C = 9,15 mg/L

$C'_{sw}$  : Kelarutan oksigen dalam air keran pada suhu di lapangan

$\beta$  : *salinity surface tension factor*, digunakan untuk 0,9 untuk air limbah (DO jenuh pada air limbah/DO jenuh pada air keran)

$\alpha$  : Faktor koreksi transfer oksigen berdasarkan elevasi

T : Temperatur rata-rata air limbah di bak aerasi pada kondisi di lapangan ( °C)

A : Luas Permukaan (m<sup>2</sup>)

T<sub>a</sub> : Temperatur ambien rata-rata (°C)

T<sub>i</sub> : Temperatur influent rata-rata (°C)

f : Faktor proporsionalitas, 0,5 (m/hari)

Q : Debit Influent (m<sup>3</sup>/hari)

j. Nilai Kebutuhan Udara Berdasarkan SRT

Massa jenis O<sub>2</sub> pada temperatur & tekanan standar : 1,201 kg/m<sup>3</sup>

$$O_2 \text{ demand} = 1,47 (S_0 - S)Q - 1,15 (x \forall / \theta c) \quad (2.12)$$

Keterangan :

$x$  : *Mixed Liquor Suspended Solids* (kg/m<sup>3</sup>)

$\forall$  : Volume reaktor (m<sup>3</sup>)

Q : Debit influent limbah (m<sup>3</sup>/hari)

$S_0$  : BOD influent (mg/L)

S : BOD efluent (mg/L)

$\theta c$  : Umur Lumpur (hari)

k. Nilai pengembalian lumpur

Nilai pengembalian lumpur (*Return Sludge Rate*) (Qasim, Syed R, 1985)

$$MLSS(Q + Q_r) = TSS_{sludge} x Q_r \quad (2.12)$$

Keterangan

Q : Debit influent air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

$Q_r$  : Debit return sludge (m<sup>3</sup>/hari)

$TSS_{sludge}$ : Kandungan padatan dalam lumpur (mg/L)

Strategi kontrol yang baik sangat penting untuk keberhasilan proses pada proses *activated sludge*. Beberapa strategi termasuk dalam aplikasi long-term control methods dan short term methods. Berikut adalah metode kontrol pada proses *activated sludge* :

Tabel 2.10 Parameter Kinerja dan Kontrol Proses Activated Sludge

No.	Parameter Kinerja	Kontrol Pengukuran
1.	MLSS	Konsentrasi MLSS
2.	Organic Loading	Konsentrasi Substrat Influent Konsentrasi MLSS Debit Influent
3.	Solid Retention Time	Konsentrasi MLSS Recycle Konsentrasi suspended solid
4.	Hydraulic Method	Debit Influent Recycle Flow rate

Sumber : Linvil, 1980

Berikut adalah beberapa masalah yang sering terjadi pada operasi sistem *activated sludge* dan penyebabnya.

Tabel 2.11 Permasalahan pada proses *activated sludge* dan penyebabnya

No.	Masalah	Penyebab
1.	Kelarutan Rendah Reduksi BOD	1. Nilai SRT terlalu rendah 2. pH terlalu tinggi atau terlalu rendah 3. Materi <i>toxic</i> dalam influent 4. Aerasi yang tidak cukup 5. <i>Short Circuiting</i>
2.	Kandungan padatan effluent tinggi pada bak sedimentasi	1. SRT terlalu tinggi 2. Nilai SRT terlalu rendah 3. Aerasi yang tidak cukup 4. Debit pengembalian lumpur terlalu rendah
3.	Odors	1. Aerasi yang tidak cukup bak aerasi 2. Kondisi Anaerobic pada bak penampung lumpur

Sumber : Linvil, 1980

Solusi operasional dan konstruksional yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah-masalah pada tabel diatas. Tindakan-tindakan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.12 Solusi Operasional dan konstruksional masalah pada proses *activated sludge*

No.	Kondisi	Tindakan
1.	Nilai <i>Solid Retention Time</i> a. Terlalu tinggi  b. Terlalu Rendah	1. Mengurangi Debit pembuangan lumpur 2. Melakukan equalisasi debit inlet 1. meningkatkan debit pembuangan lumpur
2.	pH yang terlalu tinggi atau terlalu rendah	1. equalisasi debit inlet 2. Netralisasi debit inlet
3.	Aerasi tidak memadai	1. Meningkatkan kapasitas aerasi 2. redistribusi aerator sepanjang bak aerasi 3. Equalisasi debit inlet
4.	Pencampuran materi organik rendah	1. Meningkatkan kapasitas aerasi

Sumber : Mark J Hammer, 2004

Seperti yang telah dijelaskan, MLSS adalah jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk didalamnya adalah mikroorganisme. Campuran air limbah dan lumpur disalurkan dari tangki aerasi ke bak pengendap akhir. Di dalam bak pengendap akhir ini, lumpur yang mengandung mikroorganisme yang masih aktif dipisahkan dari air limbah yang telah diolah. Sebagian dari lumpur yang masih aktif ini di kembalikan ke bak aerasi dan sebagian lagi dibuang dan dipindahkan ke pengolahan lumpur. Sel-sel mikroba terjadi dalam bentuk agregat atau flok, densitasnya cukup untuk mengendap dalam bak sedimentasi (Linvil, 1980).

Pengendapan lumpur tergantung F/M ratio dan umur lumpur. Pengendapan yang baik dapat terjadi jika lumpur mikroorganisme berada dalam fase endogeneous, yang terjadi jika karbon dan sumber energi terbatas dan jika

pertumbuhan bakteri rendah. Pengendapan lumpur yang baik dapat terjadi pada F/M ratio yang rendah (contohnya tingginya MLSS). Sebaliknya F/M ratio yang tinggi dapat mengakibatkan pengendapan lumpur yang buruk.

Pengendapan yang tidak baik dapat terjadi akibat gangguan yang tiba-tiba pada parameter fisik (suhu dan pH), kekurangan makanan, dan kehadiran zat racun (seperti logam berat) yang dapat menyebabkan hancurnya sebagian flok yang sudah terbentuk (Linvil, 1980)

## **2.10 Desinfeksi**

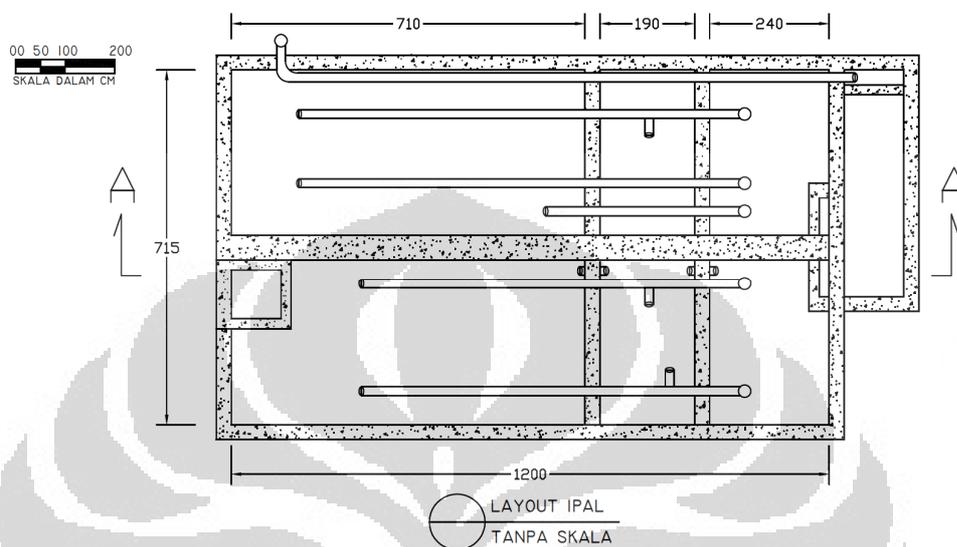
Mekanisme desinfeksi sangat dipengaruhi oleh kondisi dari zat pembunuhnya dan mikroorganismenya sendiri. Banyak zat pembunuh kimia termasuk klorin dan komponennya mematikan bakteri dengan cara merusak atau menginaktivkan enzim utama, sehingga terjadi kerusakan dinding sel. Klorin merupakan zat kimia yang umum digunakan sebagai desinfektan karena efektif membunuh mikroorganismenya pada konsentrasi rendah dan harganya yang terjangkau, akan tetapi penggunaan klorin dapat menghasilkan klorin residu atau sisa yang bersifat karsinogen. Klorin sebagai desinfektan dapat berbentuk gas klorin atau hipoklorit, HOCl. Keseluruhan jumlah gas klorin, asam hipoklorit, dan ion hipoklorit yang tersisa dalam air limbah setelah dilakukan injeksi klorin disebut sebagai residu klorin bebas. Didalam air, gas klorin bereaksi dengan air membentuk asam hipoklorit, HOCl. Berikut ini adalah persamaan reaksinya (Sawyer, Clair N & McCarty, Perry L., 2004);

## **2.11 Data IPAL Eksisting Kantor Pusat Pertamina**

Pada kondisi eksisting, air limbah yang berasal dari kamar mandi dan kegiatan domestik lainnya yang berada di dalam Gedung Utama dan Gedung Annex pada Kantor Pusat Pertamina akan menuju ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang berada di Gedung Annex. Untuk Gedung Perwira, air buangan masuk ke dalam Tangki Septik untuk kemudian dibuang ke badan air. Pada evaluasi ini, beban pengolahan akan ditambahkan dengan air buangan yang berasal dari Gedung Perwira. Sementara itu air buangan dari Kantin yang ada di

dekat area parkir Pejambon langsung dibuang ke Sungai Ciliwung tanpa pengolahan sama sekali.

Sedangkan untuk pengolahan gambaran awal kondisi eksisting IPAL adalah sebagai berikut :



Gambar 2.3 Layout IPAL Eksisting Gedung Kantor Pusat Pertamina

Sumber : HSE Pertamina

Rincinan data karakteristik air limbah IPAL Kantor Pusat Pertamina Tahun 2010 terdapat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.13 Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah 2010

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu *)	Hasil Uji Tahun 2010		
				I	II	III
1	pH	-	6 - 9	7.10	7.20	7.90
2	Zat Organik (KMnO <sub>4</sub> )	mg/L	85	19.11	35.16	53.78
3	Zat Padat Tersuspensi	mg/L	50	10.00	16.00	48.00
4	Ammonia	mg/L	10	10.01	6.62	39.91
5	Minyak dan Lemak	mg/L	10	0.16	0.45	1.13
6	Senyawa Aktif Biru Metilen	mg/L	2	0.01	0.03	0.00
7	COD (dichromat)	mg/L	80	26.36	59.23	85.91
8	BOD (20°C, 5 hari)	mg/L	50	10.50	18.00	30.00

\*) Baku Mutu Berdasarkan PerGub DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005

**Keterangan**

I = Tanggal Penerimaan Contoh : 28 Januari 2010

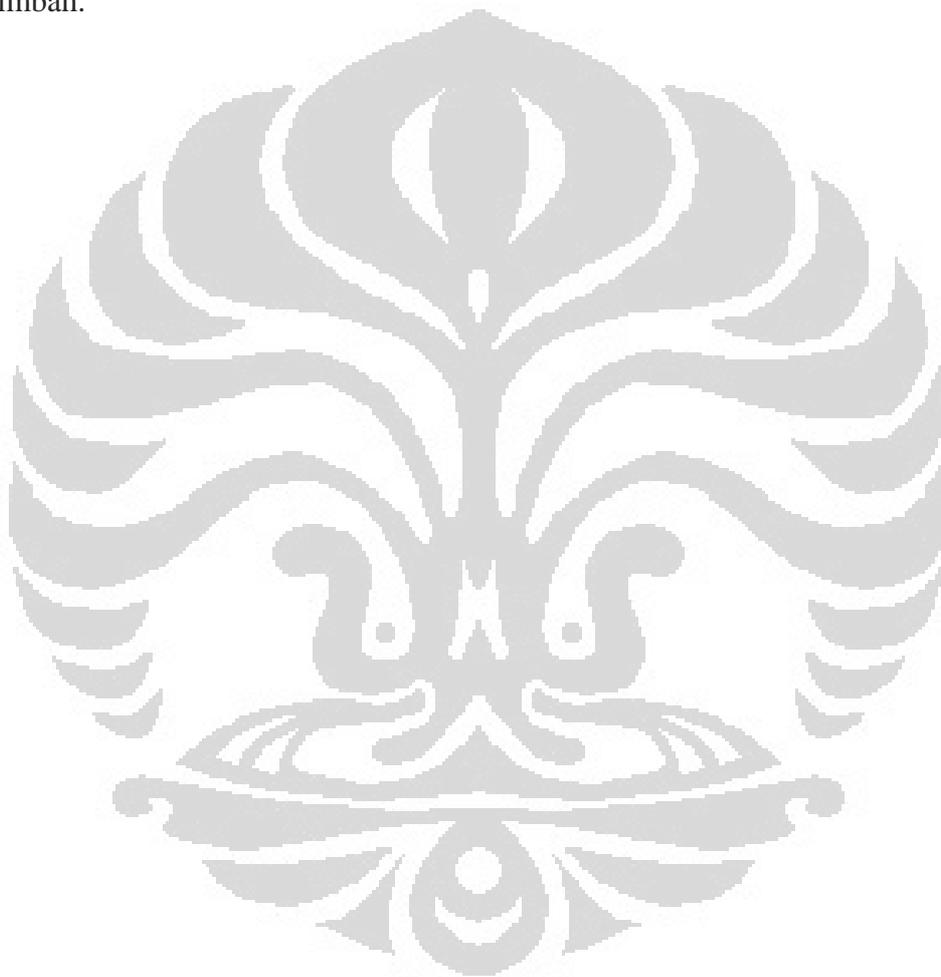
II = Tanggal Penerimaan Contoh : 16 Juni 2010

III = Tanggal Penerimaan Contoh : 2 Nopember 2010

  Hampir melampaui baku mutu

  Telah melampaui baku mutu

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada tahun 2010 diatas, terlihat ada beberapa parameter yang melebihi baku mutu yang diterapkan. Paramater tersebut antara lain adalah ammonia dan COD. Selain itu, terdapat juga parameter yang mendekati baku mutu yaitu zat padat tesuspensi dimana menurut pemeriksaan pada tahun 2010 hasil uji menunjukkan terdapat 48 mg/l zat padat tersuspensi dalam air limbah Kantor Pusat Pertamina. Untuk itu selanjutnya, akan dibahas mengenai alternatif pengolahan yang dilakukan untuk memperbaiki kualitas air limbah.



## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

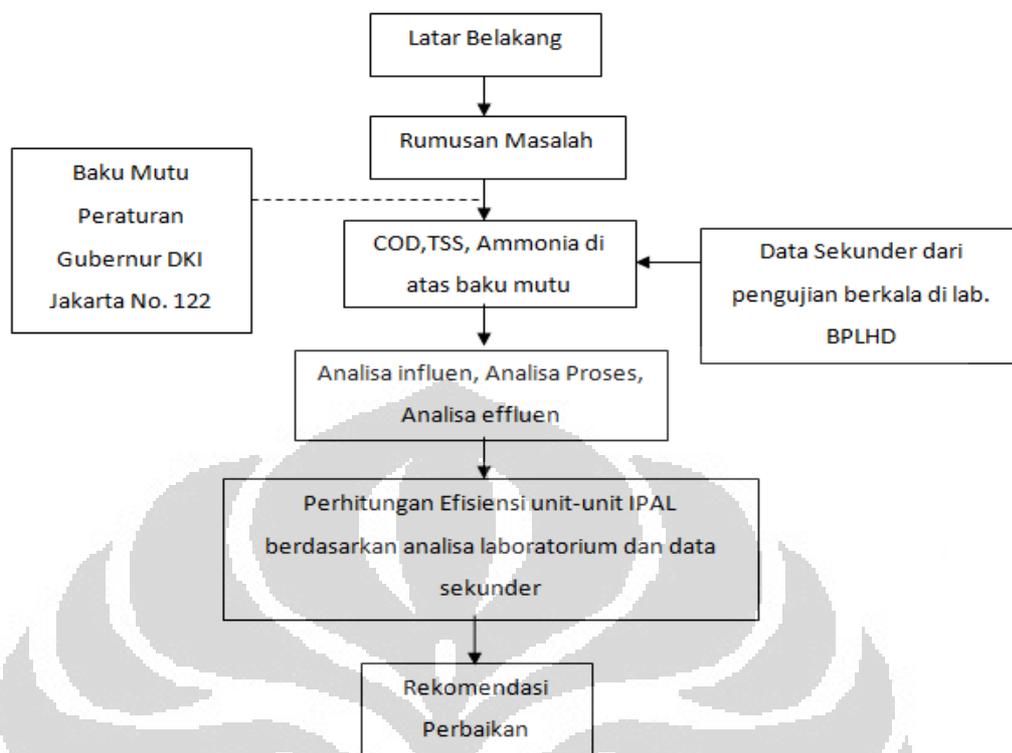
#### **3.1 Umum**

Suatu metode penelitian yang baik dan tepat sangat diperlukan untuk mengevaluasi suatu instalasi pengolahan air limbah. Untuk menunjukkan evaluasi tersebut diperlukan referensi dari berbagai buku, jurnal ilmiah, dan penelitian skripsi terdahulu. Dalam penelitian ini yang akan dilakukan adalah evaluasi kinerja instalasi pengolahan air limbah kantor pusat Pertamina.

Evaluasi adalah proses penilaian yang bisa menjadi netral, positif, atau negatif atau merupakan gabungan dari keduanya. Saat sesuatu dievaluasi, maka orang yang mengevaluasi mengambil keputusan tentang nilai. Evaluasi dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu evaluasi formatif dan evaluasi sumatif. Evaluasi formatif menghasilkan umpan balik pada saat kegiatan tertentu dalam proses atau sedang berlangsung, dan evaluasi ini dirancang untuk meningkatkan hasil karya atau menyempurnakan program. Sementara evaluasi sumatif dimaksudkan untuk menilai atau menaksir keefektifan, dampak, atau hasil akhir kegiatan kerja atau program setelah dikerjakan. Evaluasi sumatif lebih banyak berdasarkan pada metode-metode inkuiri ilmiah. Selanjutnya, berdasarkan definisi tersebut penelitian ini merupakan jenis evaluasi formatif.

#### **3.2 Kerangka Penelitian**

Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi dengan studi kasus pada Instalasi Pengolahan Air Limbah pada Gedung Kantor Pusat Pertamina. Pemilihan objek studi didasarkan adanya permasalahan pada instalasi, terutama yang terjadi akibat peningkatan beban limbah dan kualitas air limbah yang melebihi baku mutu. Penelitian yang dilakukan adalah untuk mengevaluasi efisiensi kinerja tiap-tiap unit pengolahan dan selanjutnya membandingkan dengan efisiensi total serta target efisiensi yang akan dicapai. Evaluasi dilakukan dengan menganalisa data-data primer dan sekunder.



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.

Sumber : Pengolahan Penulis

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel data pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Data kualitas air limbah influen dan effluen pada pengolahan eksisting, yaitu meliputi kualitas parameter-parameter penelitian antara lain : BOD, COD, TSS, pH, Ammonia, Minyak dan lemak, dan zat organik.
2. Lokasi dan waktu pengambilan sampel /contoh uji air limbah

### 3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di IPAL Kantor Pusat Pertamina yang terletak di Jl. Medan Merdeka Timur No. 1A. Waktu Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari – Mei 2011. Dasar pemilihan waktu ini dilakukan untuk mendapatkan data termutakhir pada objek studi terkait dan disesuaikan dengan rentang waktu penyusunan skripsi yang penulis lakukan.

### 3.5 Pengumpulan Data

#### 3.5.1 Pengumpulan Data Sekunder

Data Sekunder merupakan data yang telah dikumpulkan dan dipublikasikan oleh lembaga pengumpul data yang bersangkutan. Penggunaan data sekunder dilakukan dengan alasan efisiensi biaya dan waktu pengerjaan penelitian, data sekunder juga dapat digunakan untuk menunjang ketepatan atau validasi data primer. Data sekunder yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu :

Tabel 3.1 Data Sekunder

Data Sekunder	Keterangan	Sumber Data
Gambaran Umum Kantor Pusat Pertamina Denah Area Gedung	Informasi Umum mengenai Kantor Pusat Pertamina	HSE Pertamina
Jumlah Pengguna Gedung/ Jumlah Karyawan	Jumlah populasi manusia yang beraktivitas dalam Gedung Kantor Pusat Pertamina	HSE Pertamina
Karakteristik Aktivitas dalam gedung	Jenis-jenis aktivitas yang terdapat pada objek studi	HSE Pertamina
Jenis dan Jumlah Alat-Alat Plumbing	jumlah unit alat-alat plambing, seperti kloset, wastafel, keran dinding, <i>shower</i> , urinoir, dan bak cuci piring; yang digunakan pada gedung pelayanan IPAL	HSE Pertamina
Debit Pemakaian air	Untuk mengestimasi timbulan air limbah	HSE Pertamina
Debit pada inlet		
Debit pada outlet		
History Karakteristik Air limbah	Data mengenai karakteristik air limbah yang dimiliki Pihak Pertamina	HSE Pertamina
Kondisi eksisting IPAL	Kondisi IPAL pada saat ini	HSE Pertamina

Sumber : Pengolahan Penulis

### 3.5.2 Pengumpulan Data Primer

Data primer ialah data yang dikumpulkan dari sumber-sumber asli untuk tujuan tertentu melalui kegiatan survei lapangan dengan menggunakan metode-metode pengumpulan data yang sifatnya original. Proses pengambilan sumber data primer diperoleh dengan terlebih dahulu mengkaji data sekunder yang telah dikumpulkan untuk kemudian dapat ditarik suatu kesimpulan menuju langkah berikutnya yang akan berkaitan dengan teknik atau metode yang harus dilakukan pada saat pengambilan data primer. Data Primer diperoleh dari responden dengan wawancara, observasi, pemeriksaan langsung, dibantu dengan kuesioner dan *check list*. Pada penelitian ini dibutuhkan data primer sebagai berikut :

Tabel 3.2 Data Primer

Data	Keterangan	Sumber Data
Karakteristik Influent dan Effluent pada tiap unit pengolahan	Karakteristik Fisik yang meliputi TSS dan Temperatur Karakteristik Kimia : BOD5, COD, Minyak dan Lemak, Amoniak Biologi : <i>Coliform</i>	Analisa laboratorium

Sumber : Pengolahan Penulis, 2012

## 3.6 Pengambilan Sampel

### 3.6.1 Lokasi Pengambilan Sampel

Sampel air limbah di ambil langsung dari instalasi pengolahan air limbah domestik eksisting gedung kantor pusat Pertamina, yang berlokasi di Jalan Medam Merdeka No. 1A, Jakarta Pusat. Lokasi pengambilan sampel dilakukan berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang Air dan air limbah, Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah. Pengambilan contoh untuk evaluasi efisiensi instalasi pegolahan air limbah (IPAL), pada titik influen dan efluent :

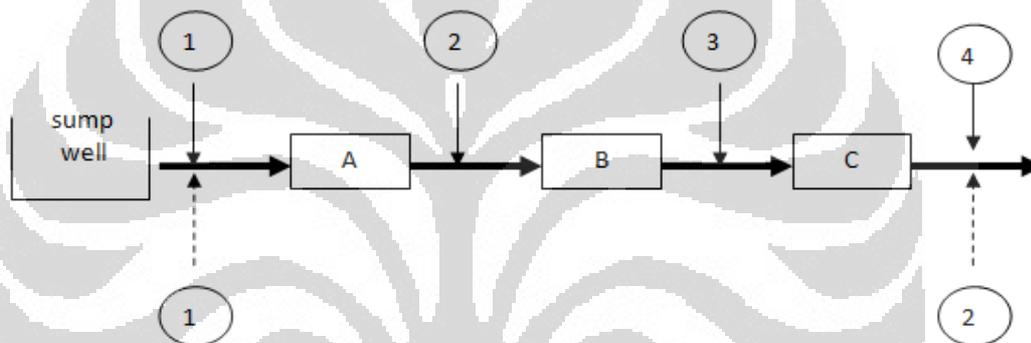
1. Titik lokasi pengambilan contoh pada inlet:

Titik pada aliran bertubulensi tinggi agar terjadi pencampuran dengan baik, yaitu pada titik dimana limbah mengalir pada akhir proses produksi menuju ke IPAL atau lokasi lain yang mewakili karakteristik air limbah.

2. Titik lokasi pengambilan contoh pada outlet

Pengambilan contoh pada outlet dilakukan pada lokasi setelah IPAL atau titik dimana air limbah yang mengalir sebelum memasuki badan air penerima (sungai). Dalam penelitian ini badan air penerima adalah Sungai Ciliwung.

3. Untuk mengetahui efisiensi dari tiap unit pengolahan pengambilan sampel dilakukan di beberapa titik yaitu:



Gambar 3.2 Titik Pengambilan Sampel

Sumber : Pengolahan penulis, 2012

Keterangan

↓  
pengolahan

= Titik pengambilan sampel untuk efisiensi per unit

↑  
pengolahan

= Titik Pengambilan sampel untuk efisiensi total unit

A = Bak Aerasi

B = Bak Sedimentasi Sekunder

C = Bak Klorinasi

### 3.6.2 Waktu Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel debit influen dan effluen air limbah IPAL kantor pusat Pertamina dilakukan pada hari dan jam kerja yang berlaku di gedung kantor pusat Pertamina yaitu antara hari Senin – Jumat yang dimulai dari pukul 08.00 – 17.00 WIB. Dengan asumsi bahwa tidak terdapat perbedaan beban organik air limbah yang signifikan antara hari Senin hingga Jumat (hari kerja), maka asumsi beban organik seragam pada waktu-waktu kerja dimana pemilihan hari sampling tidak mempengaruhi nilai kualitas air limbah selama masih pada hari-hari kerja. Selanjutnya, untuk jam pengambilan sampel air limbah, diambil secara komposit pada jam-jam kerja dengan rentang pengambilan sampel tiap 15-30 menit untuk mendapatkan kualitas influen air limbah rata-rata. Air limbah yang diambil terpisah pada jam-jam yang berbeda dikumpulkan pada satu wadah dan di analisis sebagai 1 sampel air limbah influen.

### 3.6.3 Pengujian Sampel di Laboratorium

Pengujian sampel dilakukan di laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan, sebanyak dua kali untuk masing-masing sampel, termasuk satu kali pengulangan jika terjadi kesalahan dalam menganalisis data. Sehingga total pengujian sampel adalah sebanyak tiga kali. Analisis kualitas sampel dilakukan dengan beberapa parameter uji antara lain BOD, COD, TSS, pH, *Coliform*, Amoniak, Minyak dan Lemak, dengan standar pengujian untuk masing-masing parameter yang tersedia dalam tabel dibawah ini.

Tabel 3.3 Standar Pengujian Parameter

Parameter	Standar Pengujian	Prinsip Metode Pengujian
BOD <sub>5</sub>	SNI 6989.72:2009 Air dan air limbah - Bagian 72 : Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia ( <i>Biochemical Oxygen</i>	Sejumlah contoh uji ditambahkan kedalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu 20°C ± 1°C, selama 5 hari.

	<i>Demand / BOD)</i>	Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut di waktu 0 (nol) hari dan 5 (lima) hari. Bahan kontrol standar dalam uji BOD ini, digunakan larutan glukosa-asam glutamat.
COD	SNI 06-6989.15-2004 Air dan air limbah - Bagian 15 : Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dengan refluks terbuka secara titrimetri	Zat organik dioksidasi dengan campuran mendidih asam sulfat dan kalium dikromat yang diketahui normalitasnya dalam suatu refluks selama 2 jam. Kelebihan kalium dikromat yang tidak tereduksi, dititrasi dengan larutan ferro ammonium sulfat (FAS).
TSS	SNI 06-6989.26-2005 Air dan air limbah - Bagian 26 : Cara uji kadar padatan total secara gravimetri	Contoh uji yang telah homogen disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada suhu 103-105 C. Kenaikan berat mewakili TSS
pH	SNI 06-6989.11-2004 Air dan air limbah - Bagian 26 : Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter	Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri/elektrometri dengan menggunakan pH meter.
NH <sub>3</sub> -N (Amoniak)	SNI 06-6989.30-2005 Air dan air limbah - Bagian 30 : Cara uji amonia dengan spektrofotometer secara fenat	Cara uji ini digunakan untuk menentukan kadar amonia pada kisaran kadar 0,1 mg/L sampai dengan 0,6 mg/L NH <sub>3</sub> -N dengan spektrofotometri pada panjang gelombang 640 nm. Amonia

		bereaksi dengan hipoklorit dan fenol yang dikatalisis oleh natrium nitroprusida membentuk senyawa biru indofenol.
Minyak dan Lemak	SNI 06-6989.10-2004 Air dan air limbah - Bagian 10 : Cara uji minyak dan lemak secara gravimetri	Minyak dan lemak dalam sampel uji air diekstraksi dengan pelarut organik dalam corong pisah dan untuk menghilangkan air yang masih tersisa digunakan larutan $\text{Na}_2\text{SO}_4$ anhidrat. Ekstrak minyak dan lemak dipisahkan dari pelarut organik secara destilasi. Residu yang tertinggal pada labu destilasi ditimbang sebagai nilai minyak dan lemak.
<i>Total Coliform</i>	Metode MPN (Most Probable Number) atau Tabung Ganda	Menggunakan tabung dengan jumlah/formasi tertentu yang berisi kaldu laktosa dan tabung durham untuk memperlihatkan fermentasi terhadap laktosa serta pembentukan gas, sebagai indikasi keberadaan bakteri <i>coliform</i> . Tabel MPN digunakan dalam memperkirakan jumlah bakteri <i>coliform</i> dalam 100 mL air.
Klorin	SNI 06-4824-1998	Metode pengujian kadar klorin bebas dalam air dengan alat spektrofotometer sinar tampak secara dietil fenilindiamin

Sumber: Pengolahan Penulis, 2012

### 3.7 Metode Pengolahan Data

#### 3.7.1 Analisa Kinerja IPAL

Metode Pengolahan data untuk mengevaluasi kinerja unit pengolahan limbah pada Kantor Pertamina Pusat ini dilakukan dengan melakukan analisa influen limbah, proses pengolahan dan effluen pada tiap unit pengolahan. Influen limbah ditinjau antara lain dalam kuantitas dan kualitas atau karakteristik limbah yang di produksi. Berikut ini adalah perincian analisis yang akan dilakukan pada masing-masing tahapan , antara lain :

1. Analisa Inlet Air Limbah

- a. Analisa Debit Air Limbah

Untuk menganalisa influen dan efluen limbah maka dibutuhkan data debit air limbah yang akan di hitung berdasarkan pemakaian air bersih, jumlah karyawan, pengukuran langsung di inlet dan berdasarkan pemakaian alat-alat plambing. Nilai debit air limbah yang digunakan untuk evaluasi merupakan rata-rata dari ketiga cara perhitungan tersebut.

Data- data yang dapat menunjang perhitungan nilai debit tersebut adalah sebagai berikut :

- Jumlah populasi manusia yang beraktivitas pada gedung saat penelitian dilakukan
- Nilai fluktuasi debit pemakaian air bersih dan produksi air limbah
- Jumlah alat-alat plambing seperti kloset, wastafel, keran dinding, shower, urinoir, dan bak cuci piring yang digunakan pada gedung
- Nilai rata-rata tipikal penggunaan air pada alat-alat plambing

2. Analisa Karakteristik Air Limbah

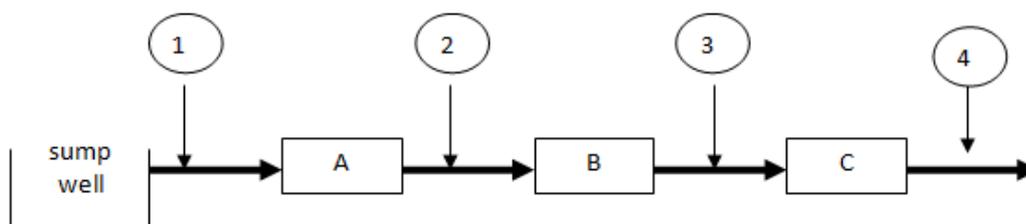
Untuk menganalisa karakteristik dari influen maka diperlukan data :

- Jenis-jenis aktivitas yang terdapat pada objek studi untuk mengidentifikasi karakteristik produksi air limbah yang dihasilkan
- Analisis kualitas fisik, kimia dan biologi dari influen air limbah dari pengujian sampel di laboratorium.

### 3. Analisis Proses Pengolahan

Evaluasi akan dilakukan dengan observasi pada IPAL eksisting dengan mengacu pada kriteria desain. Untuk itu diperlukan data kualitas fisik dan kimia yang penting bagi analisis dan perlu dilakukannya observasi untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada unit pengolahan. Pada proses pengolahan maka akan dilakukan analisa terhadap :

- Desain teknis dan mekanisme pengolahan air limbah yang dijalankan pada instalasi seperti dimensi unit yang didapatkan dari gambar teknik unit pengolahan yang kemudian di bandingkan dengan kriteria desain .
- Alat-alat yang digunakan pada unit pengolahan.
- Efisiensi (% removal) dan performa pada unit-unit pengolahan. Efisiensi unit eksisting dibandingkan dengan standar efisiensi pengolahan pada tiap-tiap unit.
- Foto instalasi dan mekanisme pengolahan pada unit yang sedang berjalan.
- Volume tangki/unit masing-masing pengolahan
- Pemeriksaan kesesuaian parameter kinerja yang dibandingkan dengan literatur yang meliputi perhitungan waktu tinggal hidrolis limbah ,jumlah kebutuhan oksigen,debit air masuk/keluar masing-masing unit, rasio sirkulasi lumpur dan umur lumpur TSS dalam lumpur limbah. Pengukuran analisis yang telah dilakukan, selanjutnya digunakan untuk dasar perhitungan beban organik, beban BOD-MLSS, F/M ratio, % penyisihan, kebutuhan udara aerasi, debit sirkulasi lumpur aktif, debit pembuangan lumpur, dan perhitungan lainnya yang dibutuhkan dengan mengacu pada kriteria desain yang ada. Berikut adalah paramater yang diamati pada masing-masing titik untuk mengevaluasi kinerja unit pengolahan.



Titik 1 :

1. Debit : pada titik ini akan diamati debit yang didapat dari perhitungan berdasarkan hasil rata-rata perhitungan dari perhitungan debit dengan berdasarkan pemakaian air bersih, jumlah karyawan, perhitungan langsung di inlet IPAL dan berdasarkan pemakaian alat-alat plambing.

2. Karakteristik

Karakteristik air limbah yang akan di analisis pada titik ini adalah TSS, BOD<sub>5</sub>, COD, Minyak dan Lemak, pH dan Amoniak.

Titik A ( Unit Aerasi ) :

1. Kadar MLSS
2. Perhitungan kebutuhan Oksigen berupa : kebutuhan oksigen teori, perhitungan *Standar Oxygen Requirement*, perhitungan volume udara yang dibutuhkan, suplai volume udara per kg BOD<sub>5</sub>
3. Perhitungan HDT
4. Perhitungan F/M ratio kondisi ideal
5. Perhitungan BOD *loading*
6. BOD-MLSS *loading* digunakan untuk untuk mengontrol proses dalam bak aerasi bila terjadi beban organik limbah masuk dengan kadar yang tinggi.
7. Volume Bak aerasi

Titik 2

Karakteristik air limbah yang akan di analisis pada titik ini adalah TSS, BOD<sub>5</sub>, dan COD

Titik B (Unit Sedimentasi) :

1. *Sludge retention time*
2. Massa dan volume lumpur yang dibuang
3. Perhitungan *return sludge rate*
4. Q pompa lumpur

Titik 3

Karakteristik

Karakteristik air limbah yang akan di analisis pada titik ini adalah TSS, BOD<sub>5</sub>, dan COD.

Titik C (Desinfeksi) :

1. Analisa Konsentrasi Klorida

Titik 4

Karakteristik air limbah yang akan di analisis pada titik ini adalah TSS, BOD<sub>5</sub>, COD, Minyak dan Lemak, Amoniak, pH, Zat Organik dan Coliform

### 3.7.2 Efisiensi Unit Pengolahan

Perhitungan efisiensi unit pengolahan pada IPAL kantor pusat Pertamina ditandai dengan persentase removal pencemar. Perhitungan persentase removal pencemar ini didasarkan pada data kualitas influen dan effluen yang kemudian akan dibandingkan nilainya untuk mengetahui efisiensi unit pengolahan. Perhitungan efisiensi tersebut berdasarkan pada rumus :

$$\% \text{ Removal} = \frac{\text{nilai kualitas di Inlet} - \text{nilai kualitas di Outlet}}{\text{nilai kualitas di Inlet}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Untuk efisiensi pada bak aerasi dan sedimentasi nilai persentase removal kadar pencemar ditentukan dengan rumus :

$$\% \text{ COD removal} = \frac{(\text{COD}_{\text{masuk}} - \text{COD}_{\text{keluar}})}{\text{COD}_{\text{masuk}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\% \text{ BOD removal} = \frac{(\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{out}})}{\text{BOD}_{\text{in}}} \times 100\% \quad (3.3)$$

$$\% \text{ TSS removal} = \frac{(\text{TSS}_{\text{masuk}} - \text{TSS}_{\text{keluar}})}{\text{TSS}_{\text{masuk}}} \times 100\% \quad (3.4)$$

Evaluasi IPAL ini akan didasarkan pada besarnya persentase removal dan perbandingan kualitas effluent dengan baku mutu yang di izinkan (berdasarkan Peraturan Gubernur No. 122 Tahun 2005 Tentang Limbah Cair Domestik). Setelah analisis-analisis tersebut dilakukan, maka permasalahan sebenarnya yang instalasi dapat diketahui secara lebih rinci dan komprehensif. Permasalahan-permasalahan yang telah teridentifikasi selanjutnya dicari solusi bagi perbaikannya.

### 3.8 Timeline

Berikut adalah timeline dari penelitian ini :

Keterangan	Okt				Nov				Des				Jan				Feb				Mar				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Menyusun Proposal	█				█				█																							
Surver Lokasi Penelitian					█				█																							
Pengumpulan Data Sekunder									█				█																			
Seminar													█																			
Pengambilan Data Primer													█				█															
Pengambilan dan Analisa Sampel													█				█				█											
Pengolahan dan Analisa Data																	█				█											
Penyusunan Laporan Penelitian																					█											

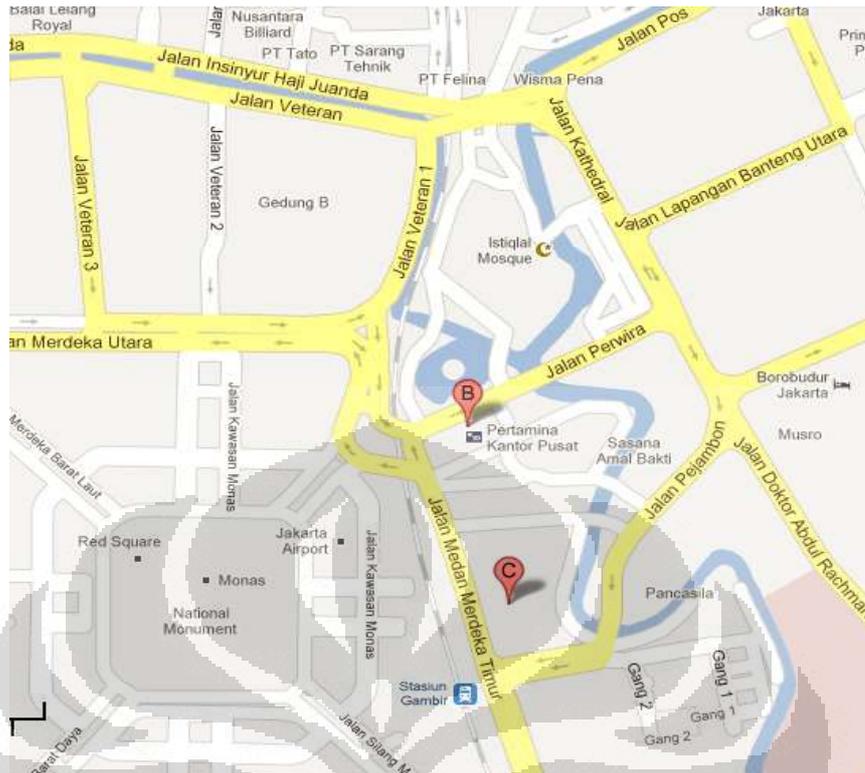
## BAB 4

### GAMBARAN UMUM LOKASI

Gedung Kantor Pusat Pertamina merupakan salah satu gedung perkantoran yang terletak di Jl. Medan Merdeka Timur No. 1 A Jakarta Pusat. Gedung ini dibangun di atas lahan dengan luas tanah seluruhnya sesuai dengan sertifikat tanah hak guna bangunan seluas 39.000 m<sup>2</sup>. Bangunan gedung utama terdiri 22 lantai ditambah *basement* dan *mezzaine*, Gedung Annex 10 lantai termasuk *ground* dan *mezzaine* dan bangunan Gedung Perwira 2-4-6 bagian depan berlantai 2 dan bagian belakang berlantai 3. Bangunan gedung Kantor Pusat Pertamina (Persero), telah dibangun dan dioperasikan pada tahun 1974. Sesuai dengan kebijakan lingkungan hidup pada saat itu, maka pembangunan dan operasional bangunan gedung tersebut belum mempunyai dokumen pengelolaan lingkungan hidup. Dalam perkembangannya selama kurun waktu tersebut, pihak pengelola telah melakukan perawatan fasilitas fisik bangunan. Pengelolaan berdasarkan implementasi kegiatan pemantauan komponen lingkungan yang telah dilakukan meliputi pemantauan kualitas air limbah dan kualitas udara.

Lokasi bangunan gedung Kantor Pusat PT Pertamina (Persero) di Jl. Medan Merdeka Timur 1A Kelurahan Gambir Kecamatan Gambir Jakarta Pusat 10110. Kegiatan lain di sekitar lokasi gedung Kantor PT Pertamina (Persero) pada radius hingga 200 m, adalah sebagai berikut :

Utara	: Ruas Jl. Perwira – Masjid Istiqlal
Selatan	: Kostrad – Jl. Pejambon
Barat	: Jl. Medan Merdeka Timur – Ditjen. Perhubungan Laut
Timur	: S. Ciliwung – Deparlu



Gambar 4.1 Lokasi Gedung Kantor Pusat Pertamina  
Sumber : Google Map

#### 4.1 Luasan Bangunan Gedung

Gedung Kantor Pusat Pertamina terdiri dari 3 gedung yaitu Gedung Utama, Gedung Annex dan Gedung Perwira. Gedung Utama terdiri dari 21 lantai dengan perpustakaan dan lain-lain didalamnya. Berikut adalah data luasan dari tiap-tiap gedung :

Tabel 4.1 Luas Area Gedung Kantor Pusat Pertamina

No	Nama Gedung	Jumlah lantai	Luas Area (m <sup>2</sup> )	Keterangan
1	Gedung Utama	24	48.092	
2	Gedung Annex	12	7.914	
3	Gedung Perwira	2	1.512	
4	Ruang parkir mobil		8.303	
5	Parkir mobil basement		2.004	

6	Ruang parkir motor		1.031,6	
7	Lahan terbuka dan Taman		428	

Sumber : HSE Pertamina

Jenis penggunaan bangunan untuk perkantoran serta fasilitas penunjangnya, antara lain :

- Restoran, kantin, dan cafe
- Ruang rapat dengan Confrence System
- Klinik dan Dokter Umum
- High Speed elevator
- Mushola
- Kantor Cabang Bank Mandiri, BNI, dan BRI
- Agen Pos dan jasa pengiriman kurir

#### 4.2 Penggunaan Sumber Daya Air

Kebutuhan air bersih eksisting menggunakan sumber daya air dari PAM-PALYJA dan air sumur, yang dipergunakan untuk aktifitas-aktifitas (toilet/MCK) karyawan, pengunjung maupun pemeliharaan kompleks kantor pusat (penyiraman taman, pembersihan pembangunan, air mancur, *reservoir hydrant* pemadam kebakaran dan lain-lain).

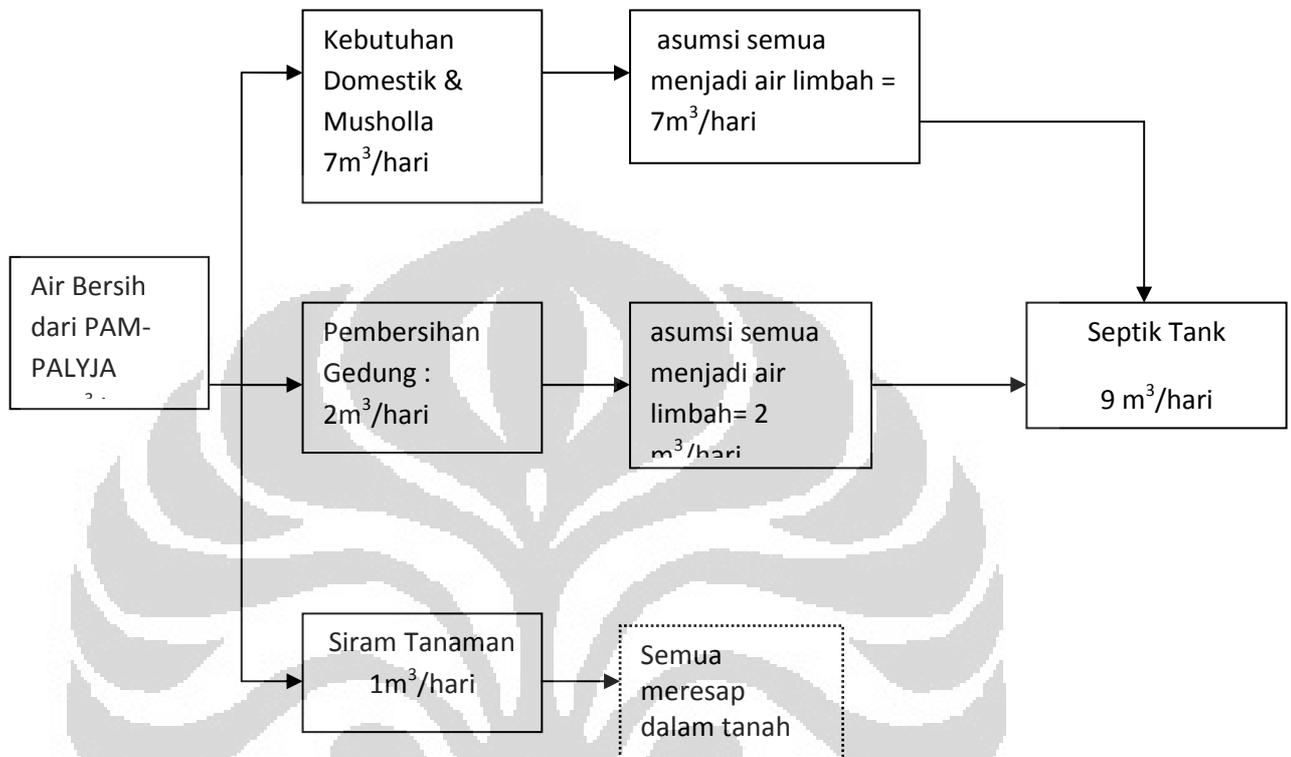
Berdasarkan data sekunder, jumlah penggunaan air sebanyak 44% berasal dari air sumur dan 56% berasal dari PAM-PALYJA. Rata-rata penggunaan air per hari dalam satu bulan dengan perincian pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Data Penggunaan Air Kantor Pusat Pertamina

Sumber Air	Penggunaan Air Rata-Rata Bulanan
Air Sumur	44%
PAM-PALYJA	56%

Sumber : HSE Pertamina

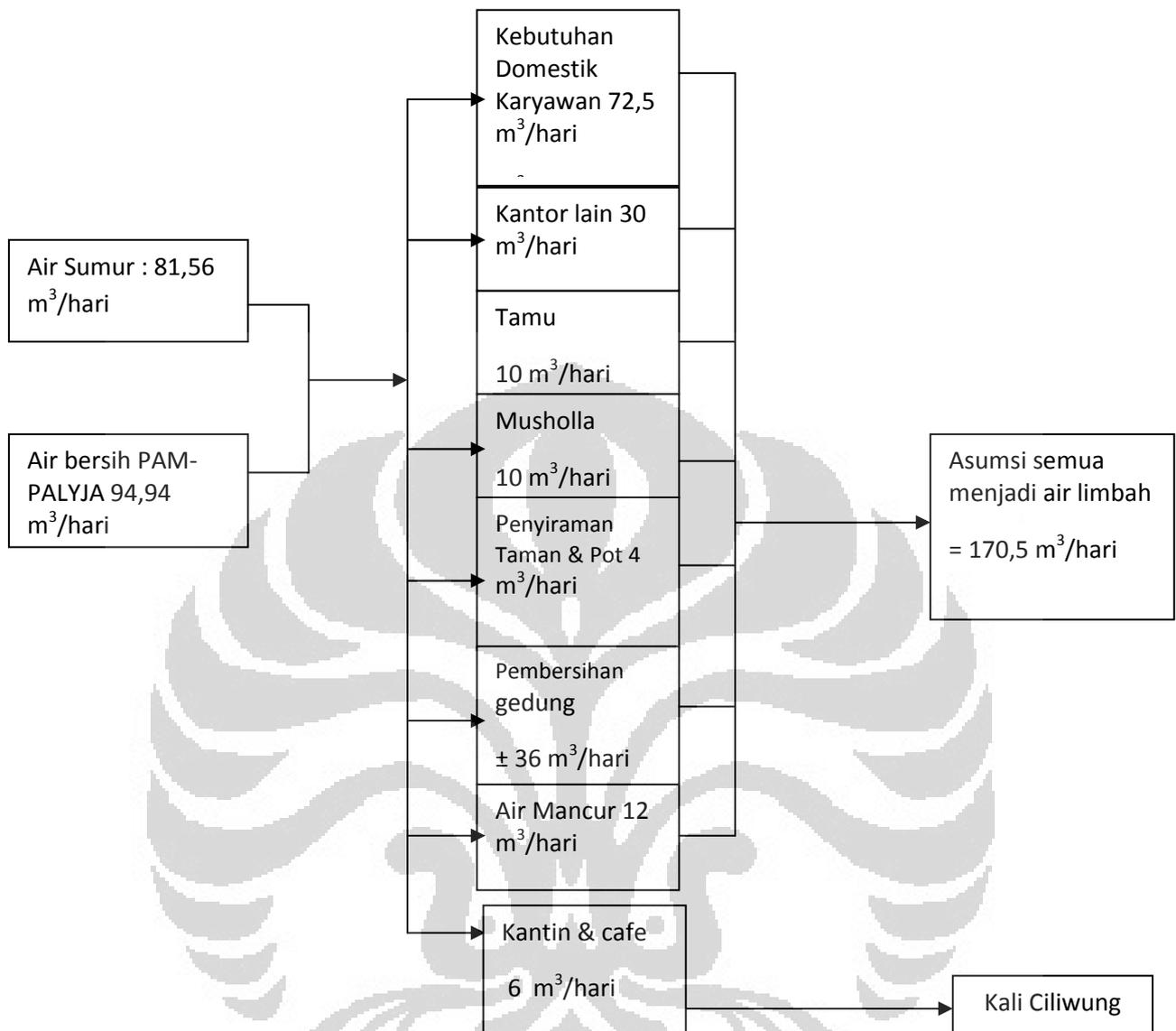
Sedangkan untuk Gedung Perwira dalam kompleks kantor pusat, air yang digunakan semuanya berasal dari air PAM. Rincian penggunaan air di Gedung Perwira pada tabel dan rincian neraca air pada gambar :



Gambar 4.1 Neraca Air Gedung Perwira  
Sumber : HSE Pertamina

Rata-rata penggunaan air di blok Gedung Utama dan Gedung Annex menggunakan air PALYJA sebanyak 94,94 m<sup>3</sup>/hari dan air sumur sebanyak 81,56 m<sup>3</sup>/hari (total 176,5 m<sup>3</sup>/hari).

Rincian penggunaan air pada tabel dan rincian neraca air pada Gambar dibawah ini :



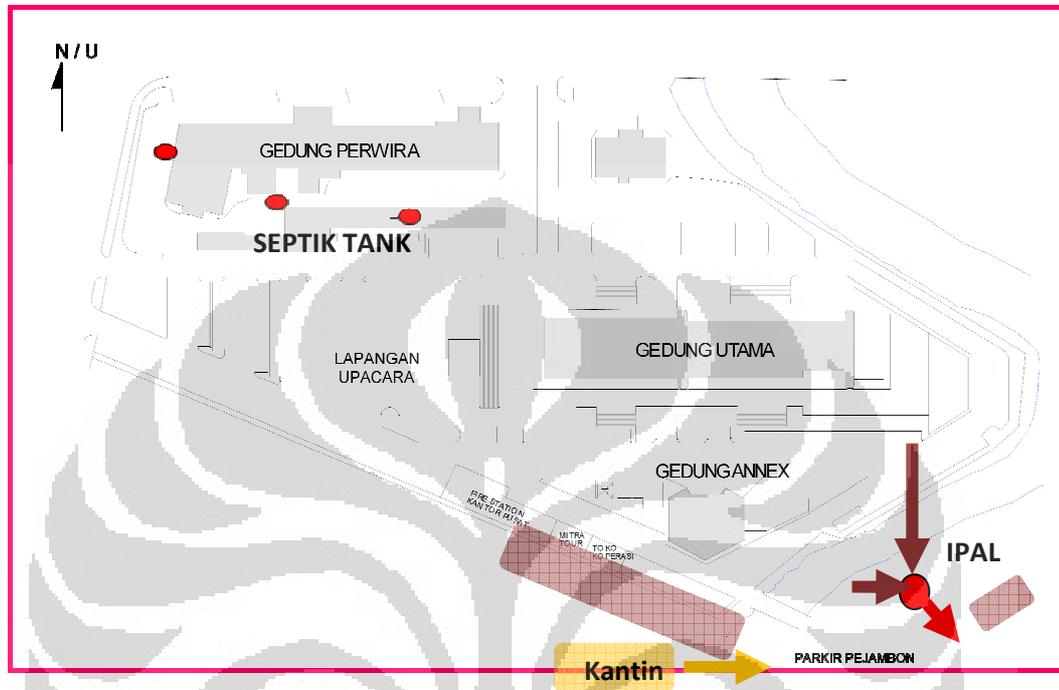
Gambar 4.2 Neraca air Gedung Utama dan Gedung Annex

Sumber : HSE Pertamina

### 4.3 Kondisi Eksisting Instalasi Pengolahan Air Limbah Kantor Pusat Pertamina

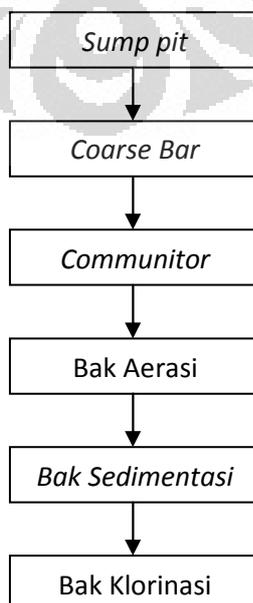
Kantor Pusat Pertamina memiliki IPAL yang berfungsi untuk mengolah air limbah yang dihasilkan dari gedung Utama dan Gedung Annex. Aliran yang masuk ke IPAL saat ini berasal dari sump pit Gedung Utama dan dari Gedung Annex baik yang melalui sump pit maupun yang langsung. Pada kondisi eksisting, air buangan yang berasal dari kamar mandi dan kegiatan domestik lainnya yang berada di dalam Gedung Utama dan Gedung Annex akan menuju ke Instalasi

Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang berada di Gedung Annex. Untuk Gedung Perwira, air buangan masuk ke dalam Tangki Septik. Sementara itu air buangan dari kantin yang ada di dekat area parkir Pejambon langsung dibuang ke Sungai Ciliwung tanpa pengolahan sama sekali.



Gambar 4.3 Skema Aliran Air Limbah Kantor Pusat Pertamina  
Sumber : HSE Pertamina

Unit pengolahan yang digunakan oleh IPAL Kantor Pusat Pertamina terdiri atas *coares bar screen*, *communitor*, lumpur aktif extended aeration dan klorinasi.



Gambar 4.4 Skema Pengolahan IPAL Kantor Pusat Pertamina

Sumber : Pengolahan Penulis

Influent yang berasal dari sump pit kemudian masuk ke coarse bar screen. Kemudian air limbah yang melewati *coarse bar screen* masuk ke dalam *communitor* dimana *communitor* akan menghancurkan padatan menjadi ukuran sekitar 6-20mm tanpa menghilangkan padatan tersebut dari air limbah (Metcalf & Eddy, 2004). Dari *communitor* ini air limbah akan memasuki sistem lumpur aktif extended aeration dimana limbah akan masuk ke bak aerasi. Oksigen kemudian disuplai ke bak aerasi yang selanjutnya digunakan oleh bakteri untuk menguraikan kandungan organik di dalam air limbah. Hasil penguraian tersebut akan menghasilkan lumpur yang selanjutnya akan diendapkan di bak sedimentasi. Lumpur yang telah mengendap akan diresirkulasikan ke dalam bak aerasi. Air limbah yang telah mengalami proses sedimentasi kemudian akan di klorinasi.

#### a. *Sump Pit*

Air limbah yang berasal dari gedung Gedung Utama setelah melalui saluran-saluran tertutup masuk ke dalam unit pengumpul air limbah. Di Gedung Utama terdapat satu buah *sump pit* yang terletak di bangunan yang sama dengan unit instalasi pengolahan air limbah. *Sump pit* ini menampung air limbah dari toilet, wastafel yang terdapat di dalam gedung utama dengan kapasitas 96m<sup>3</sup> dengan dimensi 6mx4mx4m. *Sump pit* ini dibuat dari bahan material beton dan berbentuk kotak. Pada *sump pit* terdapat pipa yang berfungsi untuk memompakan air limbah yang telah terkumpul di dalam *sump pit* untuk masuk ke IPAL karena penyaluran secara gravitasi tidak memungkinkan.

*Sump pit* juga dilengkapi dengan satu unit panel kontrol dan WLC (*Water Level Control*) yang bisa disesuaikan penggunaannya baik secara manual maupun secara otomatis. Berdasarkan pengamatan, *sump pit* akan memompa air limbah untuk masuk ke IPAL pada pukul 11.00 dan pukul 16.00. Pada saat tersebut, debit air limbah mencapai debit puncak dan tidak melalui *bar screen* karena air limbah yang masuk melebihi kapasitas.

b. Unit Pra Pengolahan

Unit pra pengolahan pada IPAL ini berupa *bar screen*. *Bar screen* berfungsi untuk menahan limbah padat agar tidak masuk ke IPAL. Limbah padat yang tersaring berupa *tissue* dan sampah pembalut wanita. Meskipun petugas ipal sudah membersihkan limbah padat tersebut dengan mengambil sampah yang menyangkut di sela-sela *bar screen* namun *bar screen* ini tidak berfungsi dengan baik karena masih banyaknya limbah padat yang masuk ke IPAL.



Gambar 4.5 Unit Comminutor  
Sumber : Hasil Dokumentasi

Terdapat pula sebuah *comminutor* yang berfungsi sebagai alat pencacah limbah berbentuk padatan yang masuk ke unit pengolah limbah yang selanjutnya dapat tercampur sempurna di dalam air limbah. Bila berfungsi, *comminutor* ini akan mencacah halus secara langsung limbah-limbah padatan yang masuk

mengikuti aliran masuk limbah. Akan tetapi *comminutor* ini tidak berfungsi sama sekali dikarenakan rusak. Kerusakan pada *comminutor* ini menyebabkan kotoran yang masuk ke IPAL tidak hancur. Penyebab kerusakan ini adalah karena alat yang sudah terlalu lama di pakai dan belum pernah diganti sejak awal di operasikan. Padahal banyak sekali limbah padatan yang perlu untuk dihancurkan sebelum masuk ke bak aerasi, antara lain ialah kotoran manusia (feses) , pembalut wanita, dan tisu. Namun dengan kondisi *comminutor* yang rusak limbah-limbah padatan tersebut mengalir terus masuk ke bak aerasi.

c. Unit Aerasi

Di IPAL ini terdapat 2 unit bak aerasi dengan masing-masing bak memiliki volume  $133,9 \text{ m}^3$  dan  $37,2 \text{ m}^3$ . Bak pertama memiliki dimensi  $7,2\text{m} \times 6\text{m} \times 3,1\text{m}$  sedangkan bak kedua memiliki dimensi  $2\text{m} \times 6\text{m} \times 3,1\text{m}$ . Didalam tiap bak aerasi ini terdapat pipa-pipa aerasi untuk mengalirkan udara dan pada bak pertama memiliki 12 pipa pengalir udara sedangkan bak kedua memiliki 6 pipa pengalir udara. Saat ini hanya 8 pipa yang masih berfungsi pada bak pertama dan 4 pipa pada bak kedua.



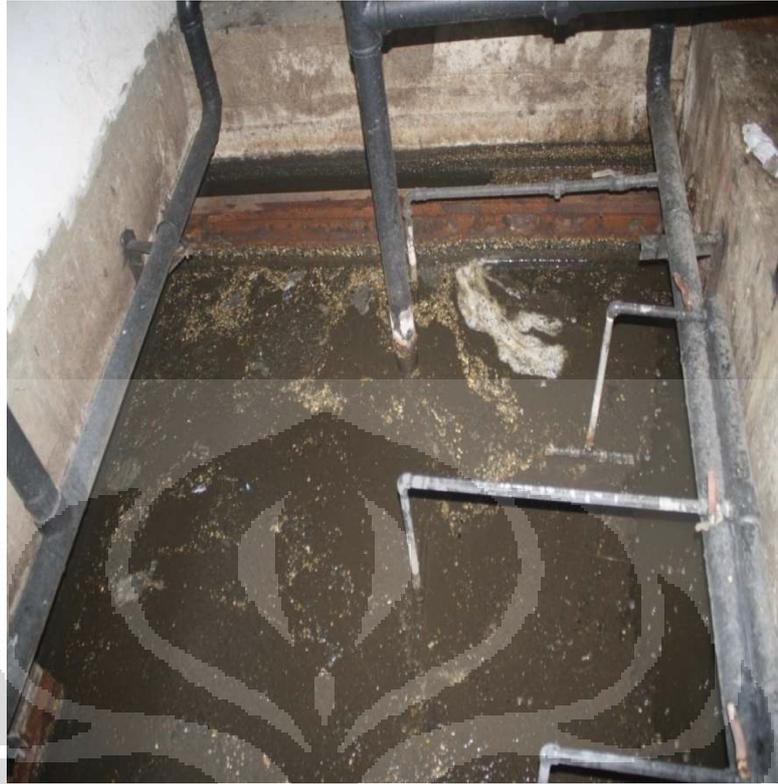
Gambar 4.6 Unit Aerasi  
Sumber : Hasil Dokumentasi

Pipa yang digunakan untuk mengalirkan udara ialah pipa berbahan material besi yang di cat, sehingga tahan terhadap karat namun karena waktu operasi yang telah melewati masa penggunaan banyak pipa yang berkarat dan sudah tidak berfungsi lagi. Blower udara yang digunakan memiliki kapasitas 3,5 m<sup>3</sup>/menit dan hanya dihidupkan pada pukul 11.00 dan 16.00 dengan lama pengaliran udara adalah selama 1 jam. Air limbah yang melewati proses di bak aerasi selanjutnya akan mengalir menuju bak aerasi kedua dengan mekanisme yang sama. Terdapat 1 buah lubang *overflow* yang terdapat di bak aerasi kedua yang bersebelahan dengan bak aerasi pertama.

Air limbah yang telah melalui proses di bak aerasi kemudian mengalir menuju bak sedimentasi dengan mekanisme limpahan melalui lubang *overflow*. Pada lubang ini sering terjadi penyumbatan akibat limbah padatan yang tidak hancur, maka dari itu petugas melakukan pembersihan secara rutin pada lubang *overflow* sehingga air dari bak aerasi mengalir dengan lancar ke bak sedimentasi.

#### d. Unit Sedimentasi

Di IPAL ini terdapat 1 unit bak sedimentasi dengan dimensi 6m x 2m x 3,1m. Air limbah yang telah di olah di bak sedimentasi kemudian melimpah dan mengalir menuju unit klorinasi melalui saluran limpahan. Pada saat observasi, pernah ditemui lumpur-lumpur yang terapung pada bak sedimentasi dan menyangkut pada pelimpah. Lumpur-lumpur tersebut merupakan limbah padatan yang terbawa dari bak aerasi dan tidak hancur pada proses di bak aerasi. Di unit ini dapat ditemui pipa-pipa yang digunakan untuk memompa lumpur dari dasar bak.



Gambar 4.7 Unit Sedimentasi

Sumber : Pengolahan Penulis

Pompa-pompa tersebut merupakan pompa *submersible* (pompa yang terendam air) dan terdapat di dasar bak sedimentasi. Pada bak sedimentasi terdapat 4 buah pompa lumpur. Pipa tersebut kemudian mengalirkan lumpur kembali ke bak aerasi IPAL.

e. Unit Klorinasi.

Terdapat 1 unit bak klorinasi yang digunakan dengan dimensi 2m x 0,5 m x 1,5m. Unit ini berbentuk saluran persegi panjang. Klor yang di injeksikan ke unit ini dilakukan dengan tabung injeksi klor, akan tetapi pada saat ini tabung injeksi tersebut tidak pernah digunakan lagi karena sudah tidak dapat berfungsi lagi.



Gambar 4.8 Tabung Injeksi Klor

Sumber : Hasil Dokumentasi

Menurut keterangan petugas IPAL pada saat tabung injeksi tersebut masih bisa di gunakan, frekuensi injeksi klor tidak dilakukan secara rutin, melainkan pada saat-saat tertentu saja saat air limbah dalam kondisi yang sangat kotor. Untuk melakukan penambahan bahan kimia lainnya ke dalam air limbah, unit klorinasi ini digunakan untuk sebagai tempat injeksinya. Contohnya, operator IPAL pernah menambahkan tawas ke dalam unit klorinasi untuk menjernihkan air limbah yang telah melalui bak sedimentasi. Air limbah yang telah di olah dalam bak klorinasi kemudian mengalir ke saluran yang mengalir langsung ke Sungai Ciliwung.

#### f. Mekanisme Pengembalian Lumpur

Pada proses *activated sludge*, salah satu komponen yang penting selain aerasi dan sedimentasi adalah mekanisme pengembalian lumpur (*return sludge*) ke aliran inlet limbah. Pada IPAL ini, terdapat 4 pipa yang menyedot *sludge* dalam bak sedimentasi untuk dialirkan kembali ke bak aerasi.



Gambar 4.9 Pipa Pengembalian Lumpur

Sumber : Hasil Dokumentasi

Berikut adalah debit resirkulasi dari 3 pipa resirkulasi yang masih berfungsi :

Tabel 4.3 Debit Resirkulasi Lumpur

No	Debit ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )	Debit ( $\text{m}^3/30 \text{ menit}$ )
1.	0,047	8,39
2.	0,0043	7,77
3.	0,0059	10,54
Total	0,015	26,7

Dari 4 pipa tersebut hanya 3 pipa yang saat ini dapat berfungsi sedangkan 1 pipa sudah tidak berfungsi. Kerusakan kemungkinan disebabkan karena masa penggunaan pipa yang sudah terlalu lama. Terlihat bahwa pipa sudah berkarat dan terdapat keropos di beberapa bagian pipa. Pipa resirkulasi ini hanya berfungsi

selama 2 jam setiap hari. Sehingga debit yang diresirkulasikan per hari adalah  $106,8 \text{ m}^3/\text{hari}$

#### 4.4 Debit Timbulan Air Limbah

Debit timbulan air limbah penting untuk diketahui untuk menentukan besarnya kapasitas hidrolis dari pengolahan limbah yang ada di IPAL. Ada berbagai macam cara yang dapat digunakan untuk menghitung perkiraan debit timbulan air limbah pada aktivitas gedung. Diantara cara-cara yang digunakan ialah melalui perhitungan debit pemakaian air bersih, perhitungan jumlah populasi manusia di dalam gedung, perhitungan jumlah pemakaian alat-alat plambing serta dengan perhitungan secara langsung debit air limbah yang masuk di inlet IPAL. Gedung Kantor Pusat Pertamina beroperasi efektif pada hari Senin – Jumat pada pukul 08.00 – 16.00, dan pada rentang waktu tersebut merupakan hari-hari aktif perkantoran yaitu saat banyak pegawai datang ke gedung untuk bekerja.

Pada kondisi eksisting, debit inlet pada IPAL berasal dari kegiatan domestik pada Gedung Utama dan Gedung Annex, sedangkan air limbah yang berasal dari Gedung Perwira di alirkan ke *Septic Tank*. Pada evaluasi ini, debit air limbah yang digunakan untuk masuk ke IPAL dihitung berdasarkan 2 kondisi. Kondisi pertama adalah kondisi eksisting dimana perhitungan dilakukan dengan jumlah pemakaian air bersih, perhitungan jumlah populasi karyawan, jumlah alat-alat plambing pada Gedung Utama dan Gedung Annex dan perhitungan langsung pada inlet. Sedangkan untuk kondisi kedua adalah debit proyeksi dengan menambahkan jumlah pemakaian air bersih, perhitungan jumlah populasi karyawan dan jumlah alat-alat plambing pada Gedung Perwira

##### 4.4.1 Kondisi Eksisting

###### a. Berdasarkan Perhitungan Langsung Pada Saluran Inlet

Pelaksanaan dari metode ini yaitu dengan menggunakan wadah/ember yang diketahui volumenya dan alat pengukur waktu (*stopwatch*). Berikut ini adalah data pengukuran debit influent air limbah yang berhasil dicatat menggunakan wadah/ember dengan volume 6 liter, pada tanggal 29 Februari 2012 :

Tabel 4.4 Data Pengukuran Inlet IPAL

Waktu	T1	T2	T3	T	Q	
					L/s	m <sup>3</sup> /s
9:00	04.88	03.34	02.68	03.63	1.651	142.68
9:10	03.88	02.51	03.41	03.27	1.837	158.69
9:20	04.47	04.09	04.09	04.22	1.423	122.94
9:30	02.56	02.02	03.35	02.64	2.27	196.12
9:40	01.46	02.78	03.12	02.45	2.446	211.3
9:50	03.33	03.49	03.20	03.34	1.796	155.21
10:00	02.33	02.80	03.76	02.96	2.025	174.94
10:10	02.94	03.64	03.67	03.42	1.756	151.73
10:20	02.88	02.90	02.41	02.73	2.198	189.89
10:30	02.80	02.66	02.43	02.63	2.281	197.11
10:40	04.04	04.48	04.58	04.37	1.374	118.72
10:50	02.15	02.66	03.01	02.61	2.302	198.87
11:00	02.66	02.14	02.12	02.31	2.601	224.74
11:10	02.82	03.03	03.65	03.17	1.895	163.71
11:20	03.99	03.20	03.45	03.55	1.692	146.17
11:30	03.15	03.48	03.28	03.30	1.816	156.93
11:40	03.33	03.85	04.10	03.76	1.596	137.87
11:50	06.34	05.29	05.45	05.69	1.054	91.054
12:00	04.70	04.00	03.90	04.20	1.429	123.43
12:10	02.89	02.70	02.84	02.81	2.135	184.48
12:20	02.52	03.51	03.17	03.07	1.957	169.04
12:30	02.30	02.83	02.64	02.59	2.317	200.15
12:40	03.21	01.63	02.37	02.40	2.497	215.7
12:50	02.40	02.40	02.51	02.44	2.462	212.75
13:00	03.40	03.92	03.29	03.54	1.697	146.58
13:10	02.85	02.68	04.11	03.21	1.867	161.33
13:20	02.93	02.50	02.46	02.63	2.281	197.11
13:30	03.18	02.68	03.91	03.26	1.842	159.18
13:40	03.36	03.54	02.85	03.25	1.846	159.51
13:50	03.30	03.05	03.18	03.18	1.889	163.19
14:00	02.73	03.22	02.65	02.87	2.093	180.84

14:10	02.92	03.50	02.38	02.93	2.045	176.73
14:20	02.55	03.87	02.52	02.98	2.013	173.96
14:30	02.33	03.43	03.30	03.02	1.987	171.66
14:40	03.27	02.34	03.20	02.94	2.043	176.53
14:50	03.32	03.36	03.03	03.24	1.854	160.16
15:00	03.57	03.01	03.26	03.28	1.829	158.05
15:30	02.01	03.21	02.31	02.51	2.39	206.53
15:40	03.60	03.10	02.65	03.12	1.925	166.33
15:50	02.92	02.80	03.12	02.95	2.036	175.93
16:00	03.70	03.53	02.89	03.37	1.779	153.68

Sumber : Pengolahan Penulis

Dari pengukuran debit yang telah dilakukan dari pukul 09.00 – 16.00 didapatkan rata-rata debit air limbah di inlet adalah 169,06 m<sup>3</sup>/hari dengan debit maksimum adalah 224,73 m<sup>3</sup>/hari dan debit minimum 91,05m<sup>3</sup>/hari.

b. Berdasarkan Pemakaian Air Bersih

Pemakaian air bersih pada Gedung Kantor Pusat Pertamina bersumber dari jaringan air bersih PAM dari instalasi PAM. Pada perhitungan debit berdasarkan pemakaian air bersih, maka akan dimasukkan perhitungan debit pemakaian air bersih dari 3 gedung yaitu Gedung Utama, Gedung Annex dan Gedung Perwira. Rata-rata penggunaan air di blok Gedung Utama dan Gedung Annex menggunakan air PALYJA sebanyak 94,94 m<sup>3</sup>/hari dan air sumur sebanyak 81,56 m<sup>3</sup>/hari (total 176,5 m<sup>3</sup>/hari). Pemakaian Air bersih tersebut sudah termasuk pemakaian air bersih untuk kantin sebesar 6m<sup>3</sup>/hari yang tidak masuk ke IPAL. Sehingga untuk pemakaian bersih dari Gedung Utama dan Gedung Annex adalah sebesar 170,5 m<sup>3</sup>/hari. Pemakaian air bersih untuk kantin akan diperhitungkan untuk kondisi perencanaan.

Air bersih yang berasal dari air tanah menggunakan pompa hanya digunakan untuk penyiraman tanaman dan air mancur, sedangkan air bersih yang khusus digunakan untuk keperluan toilet di 3 gedung tersebut menggunakan air PAM. Data debit penggunaan air bersih dari air baku PAM dapat digunakan menggunakan meteran PAM yang berada di gedung Utama.

Pada rentang jam kerja, debit timbulan air limbah selalu berfluktuasi (tidak selalu konstan) tergantung pada intensitas pemakaian air bersih. Pada waktu-waktu tersebut intensitas penggunaan toilet dan wastafel meningkat untuk cuci tangan dan buang air. Dari hasil observasi tersebut dapat diprediksi bahwa pada jam menjelang istirahat siang banyak pegawai yang keluar ruangan untuk berwudhu, cuci tangan dan buang air. Pada istirahat siang, kebanyakan pegawai kantor tidak berada di dalam ruang kantor, tetapi keluar ruangan untuk istirahat siang. Selanjutnya pada sore hari merupakan waktu jam pulang kantor dan solat ashar, sehingga air bersih banyak digunakan untuk berwudhu dan cuci tangan. Setelah jam perkantoran selesai (rata-rata pada jam 16.30-17.00), aktivitas di Gedung Kantor pusat Pertamina mulai menurun karena sudah banyak pegawai dan pengguna gedung lainnya yang pulang, maka itu kegiatan perkantoran rata-rata sudah tidak aktif terlihat.

c. Berdasarkan Alat-alat Plumbing

Perhitungan debit timbulan air limbah dapat dihitung melalui pengolahan data jumlah pemakaian alat-alat plumbing. Adapun alat-alat plumbing yang didata adalah alat plumbing yang terdapat pada masing-masing gedung di Kantor Pusat Pertamina.

Tabel 4.5 Perhitungan Debit Air Limbah Gedung Utama Berdasarkan Alat Plumbing

Alat Plumbing	Jumlah Total (unit)	Volume Pemakaian Air 1 x (liter)	Frekuensi Per Jam	Q (L/jam)
Urinoir	88	5	20	8800
Closet	140	15	10	21000
Wastafel	146	3	20	8760
Shower	12	24	3	864
Kran Dinding	86	10	12	10320
Cucian Piring	39	25	12	11700

Sumber : Pengolahan Penulis

Tabel 4.6 Perhitungan Debit Air Limbah Gedung Annex Dari Alat-Alat Plumbing

Alat Plumbing	Jumlah Total (unit)	Volume Pemakaian Air 1 x (liter)	Frekuensi Per Jam	Q (L/jam)
Urinoir	22	5	20	2200
Closet	53	15	10	7950
Wastafel	53	3	20	3180
Shower	-	24	3	0
Kran Dinding	104	10	12	12480
Cucian Piring	11	25	12	3300

Sumber : Pengolahan Penulis

Tabel 4.7 Debit Air Limbah Setelah dikali Faktor Pemakaian Serentak

Alat Plumbing	Debit Penggunaan Serentak	Faktor Pemakaian Serentak %	Debit (L/jam)
Urinoir	91340	33%	30142,2
Closet			
Wastafel			
Shower	1800	45	810
Cucian Piring	9900	45	4455

Sumber : Pengolahan Penulis

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan total debit air limbah secara keseluruhan adalah **35407,2L/jam**. Dengan jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari untuk jenis gedung perkantoran adalah selama 8 jam/hari, maka debit air berdasarkan jumlah alat-alat plumbing adalah **283,3 m<sup>3</sup>/hari**.

- d. Berdasarkan Populasi Karyawan  
Gedung Annex

Perhitungan debit air limbah dapat pula di hitung menggunakan jumlah populasi manusia yang terdapat di dalam gedung. Dengan menggunakan nilai

pemakaian air bersih minimum untuk gedung perkantoran sebesar 50/liter/hari/pegawai (SNI 03-7065-2005), maka total pemakaian air bersih di seluruh Gedung Kantor Pusat Pertamina dihitung berdasarkan jumlah populasi karyawan pada pada tabel berikut ini :

Tabel 4.8 Jumlah Populasi Karyawan Gedung Annex

Lantai	Jumlah Populasi (orang)
M	165
1	192
2	42
3	54
4	56
5	53
6	47
7	51
8	49
9	36
Total Populasi	745

Sumber : Pengolahan Penulis

Sedangkan untuk perhitungan debit air limbah berdasarkan Populasi Karyawan di Gedung Utama adalah sebagai berikut :

Tabel 4.9 Populasi Karyawan Gedung Utama

Lantai	Jumlah Populasi (orang)
Basement	99
G	57
M	47
1	120
2	102
3	36
4	89
5	59
6	66
7	65
8	80
9	66
10	89

11	101
12	96
13	66
14	65
15	50
16	74
17	89
18	80
19	73
20	52
21	22
total	1743

Sumber : HSE Pertamina

Dari perhitungan didapatkan bahwa jumlah populasi manusia di seluruh Gedung Utama dan Gedung Annex adalah 2448 orang. Dengan menggunakan nilai pemakaian air bersih minimum untuk gedung perkantoran sebesar 50 liter/hari/pegawai (SNI 03-7065-2005), maka total pemakaian air bersih di seluruh Gedung Utama dan Annex adalah 12440 liter per hari atau 124,5 m<sup>3</sup>/hari. Dengan menggunakan asumsi bahwa seluruh air bersih yang digunakan oleh pegawai di dalam gedung dari alat-alat plambing seperti urinoiri, kloset, wastafel, keran dinding, shower, dan cucian piring dialirkan seluruhnya ke pembuangan air limbah, maka nilai debit yang didapat tersebut juga mempresentasikan nilai debit air limbah yang selanjutnya mengalir menuju ke IPAL.

#### 4.4.2 Kondisi Perencanaan

##### a. Debit Air Limbah berdasarkan Jumlah Alat-alat Plambing

Perhitungan debit timbulan air limbah pada Gedung Perwira yang akan di olah di IPAL dapat dihitung melalui pengolahan data jumlah pemakaian alat-alat plambing. Perhitungan Debit Air Limbah Gedung Perwira Dari Alat-Alat Plambing adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Perhitungan Debit Air Limbah Gedung Perwira dari Alat Plumbing

Alat Plumbing	Jumlah Total (unit)	Volume Pemakaian Air 1 x (liter)	Frekuensi Per Jam	Q (L/jam)
Urinoir	24	5	20	2400
Closet	39	15	10	5850
Wastafel	30	3	20	1800
Shower	-	24	3	0
Kran Dinding	55	10	12	6600
Cucian Piring	-	-	-	-

Sumber : Pengolahan Penulis

Tabel 4.11 Perhitungan Debit Air Limbah dengan Faktor Perhitungan Serentak

Alat Plumbing	Debit Penggunaan Serentak	Faktor Pemakaian Serentak %	Debit M
Urinoir	16650	33	5494,5
Closet			
Wastafel			
Shower	1800	45	810
Cucian Piring	0	45	0

Sumber : Pengolahan Penulis

Dari hasil perhitungan yang dilakukan, maka didapatkan total debit air limbah secara keseluruhan adalah **5494,5L/jam**. Dengan jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari untuk jenis gedung perkantoran adalah selama 8 jam/hari., maka debit air berdasarkan jumlah alat-alat plumbing adalah **50,43 m<sup>3</sup>/hari**.

b. Debit Air Limbah berdasarkan Pemakaian Air Bersih

Rata-rata penggunaan air per hari di blok Gedung Perwira dalam kompleks kantor pusat, sekitar 10 m<sup>3</sup>/hari yang semuanya berasal dari PAM. Data tersebut didapatkan dari data sekunder dari pihak Pertamina (data terlampir).

## c. Debit Air Limbah berdasarkan Populasi Manusia

Tabel 4.12 Populasi Gedung Perwira

Lantai	Jumlah Populasi (orang)
1.2	26
2.1	56
2.2	41
2.2	30
2.4.2	44
2.4(1,2)	12
2.4.3	60
Total	269

Sumber : HSE Pertamina

Dari perhitungan didapatkan bahwa jumlah populasi manusia di seluruh Gedung Perwira adalah 269 orang. Sama halnya dengan Gedung Utama dan Gedung Annex, dengan menggunakan nilai pemakaian air bersih minimum untuk gedung perkantoran sebesar 50 liter/hari/pegawai (SNI 03-7065-2005), maka total pemakaian air bersih di seluruh Perwira adalah 13450 liter per hari atau 13,45 m<sup>3</sup>/hari. Dengan menggunakan asumsi bahwa seluruh air bersih yang digunakan oleh pegawai di dalam gedung dari alat-alat plambing seperti urinoiri, kloset, wastafel, keran dinding, shower, dan cucian piring dialirkan seluruhnya ke pembuangan air limbah, maka nilai debit yang didapat tersebut juga mempresentasikan nilai debit air limbah yang selanjutnya mengalir menuju ke IPAL.

## d. Debit Air Limbah Dari Pemakaian Air Bersih Kantin

Pada kondisi perencanaan, air limbah yang berasal dari kegiatan kantin akan diolah pada IPAL. Debit Air limbah tersebut diperhitungkan berdasarkan jumlah pemakaian air bersih dari data sekunder yang didapatkan yaitu sebesar 6m<sup>3</sup>/hari.

## BAB 5

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Analisa Inlet Air Limbah

##### 5.1.1 Analisa debit Air Limbah

Perhitungan input debit air limbah dilakukan dengan 4 cara yaitu : (1) perhitungan debit pemakaian air bersih, (2) perhitungan jumlah populasi karyawan di dalam gedung, (3) perhitungan jumlah pemakaian alat-alat plambing yang di olah dengan standar debit pemakaian air pada alat-alat plambing dan (4) perhitungan secara langsung debit air limbah yang masuk di inlet IPAL. Berikut ini akan ditampilkan kembali tabel hasil perhitungan debit timbulan air limbah

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Debit Timbulan Air Limbah

Cara Perhitungan	Debit Air Limbah (m <sup>3</sup> /hari)		
	Gedung Annex dan Gedung Utama	Gedung Perwira	Kantin
Pemakaian Air Bersih (meteran PAM)	170,5 m <sup>3</sup> /hari	10 m <sup>3</sup> /hari	6 m <sup>3</sup> /hari
Luasan Efektif Gedung (Populasi Manusia)	124,5 m <sup>3</sup> /hari	13,5 m <sup>3</sup> /hari	
Jumlah Alat-Alat Plambing	283, m <sup>3</sup> /hari	50,5 m <sup>3</sup> /hari	
Debit Inlet IPAL (Perhitungan Langsung)	169 m <sup>3</sup> /hari		
Debit rata-rata	187 m <sup>3</sup> /hari	24,6 m <sup>3</sup> /hari	6 m <sup>3</sup> /hari

Sumber : Pengolahan Penulis

Dari keempat cara perhitungan timbulan air limbah untuk Gedung Utama dan Gedung Annex, didapatkan nilai debit yang berbeda-beda. Perhitungan dengan menggunakan jumlah alat-alat plambing menghasilkan nilai debit air limbah yang tertinggi dan nilai debit tertinggi selanjutnya dihasilkan dengan perhitungan menggunakan angka pemakaian air bersih. Nilai debit dari perhitungan alat plambing memiliki nilai yang mendekati nilai maksimum debit

dengan perhitungan langsung di inlet yang telah di jabarkan pada bab sebelumnya. Nilai perhitungan debit inlet yang didapatkan dari perhitungan langsung tidak jauh berbeda dengan nilai yang didapat dari perhitungan berdasarkan pemakaian air bersih.

Dari keempat cara tersebut, yang paling mendekati keadaan sebenarnya adalah menggunakan perhitungan dengan jumlah populasi karena angka tersebut merepresentasikan kondisi lapangan terkini. Perhitungan dengan angka pemakaian air bersih juga dapat mempresentasikan kondisi mutakhir di lapangan, akan tetapi akan lebih akurat bila menggunakan data-data pemakaian air harian dalam satu tahun terakhir. Untuk perhitungan dengan menggunakan jumlah alat-alat plambing belum cukup akurat untuk mencerminkan timbulan air limbah yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dalam perhitungan tersebut digunakan angka frekuensi pemakaian alat plambing per jam. Angka tersebut merupakan angka tipikal (dari referensi) untuk kondisi ideal. Bila populasi pegawai didalam Kantor Pertamina Pusat bertambah dan terlalu padat, maka angka frekuensi tersebut tidak bisa lagi mewakili kondisi di lapangan. Nilai debit untuk kondisi eksisting pada Gedung Utama dan Gedung Anex dihitung berdasarkan rata-rata dari keempat cara perhitungan tersebut yaitu sebesar  $186,84 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Pada kondisi eksisting, air limbah yang berasal dari Gedung Perwira disalurkan langsung ke tangki septik sehingga tidak dimasukkan dalam perhitungan debit. Begitu pula air limbah yang berasal dari kantin yang di buang langsung ke Sungai Ciliwung.

Untuk perhitungan debit pada kondisi perencanaan akan digunakan debit air limbah yang tidak hanya berasal dari Gedung Utama dan Gedung Annex, namun debit air limbah yang berasal dari Gedung Perwira dan kantin juga direncanakan akan diolah di IPAL. Perhitungan debit air limbah dari Gedung Perwira dilakukan dengan 3 cara yaitu dengan perhitungan berdasarkan pemakaian air bersih, perhitungan jumlah populasi pegawai dan perhitungan dengan menggunakan jumlah alat-alat plambing. Sama halnya dengan perhitungan debit untuk Gedung Utama dan Gedung Annex, nilai dari tiga cara perhitungan tersebut dirata-ratakan sehingga didapatkan debit sebesar  $24,62 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Sementara debit air limbah dari kantin yaitu sebesar  $6 \text{ m}^3/\text{hari}$  dengan asumsi semua air limbah masuk ke IPAL.

Nilai debit air limbah yang akan diolah di IPAL pada kondisi perencanaan adalah penjumlahan debit air limbah dari semua gedung di kantor Pusat Pertamina yaitu sebesar : 220 m<sup>3</sup>/hari.

### 5.1.2 Analisa Karakteristik Air Limbah

Seluruh air limbah yang diolah pada IPAL merupakan air limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik yaitu kegiatan toilet dan dapur dengan mayoritas kegiatan penghasil air limbah adalah kegiatan toilet seperti buang air kecil dan besar, serta mencuci tangan. Dengan karakteristik inlet limbah tersebut, maka perlu untuk diketahui karakteristik fisik, kimiawi, dan biologi dari air limbah untuk mengukur kinerja pengolahan air limbah di IPAL.

Berdasarkan data sekunder dari pihak pengelola IPAL Kantor Pusat Pertamina, pengecekan kualitas air limbah dilakukan setiap 3 bulan sekali oleh pihak BPLHD. Hasil pemeriksaan tersebut dilaporkan kembali ke pihak pengelola IPAL. Dalam pelaksanaannya, pengecekan yang dilakukan per tiga bulan ini lebih diutamakan pada pengecekan kualitas effluent dari IPAL. Sedangkan pengecekan influent hanya pernah dilakukan pada bulan April 2011. Selanjutnya akan dianalisa kualitas influent untuk setiap parameter yang telah ditetapkan oleh Pergub No. 122 Tahun 2005 yaitu nilai pH, Kandungan zat organik KMNO<sub>4</sub>, zat padat tersuspensi (TSS), Amonia, Minyak-Lemak, COD, dan BOD<sub>5</sub>.

Tabel berikut ini adalah hasil analisis kimiawi yang dilakukan pada inlet yang diambil pada titik inlet IPAL pada tanggal 24 April 2012

Tabel 5.2 Analisa Laboratorium Karakteristik Inlet IPAL

Parameter	Karakteristik Tipikal Limbah Domestik			Konsentrasi (mg/L)
	Low	Medium	High	
TSS	390	720	1230	197
BOD <sub>5</sub>	110	190	350	136,76
COD	250	430	800	324,78
Minyak dan Lemak	50	90	100	1,13
Amoniak	12	25	45	38,36
Zat Organik				197,58

Sumber : Pemeriksaan Laboratorium BPLHD 2012

Analisis sampel air limbah dilakukan sebanyak 2 kali, karena terdapat kesalahan pada saat analisis pertama yang menyebabkan hasil analisis tidak representatif. Untuk analisa kedua, pengambilan sampel dilakukan dengan metode komposit.

Rentang konsentrasi hidrogen yang sesuai untuk keberlangsungan kehidupan biologi dalam air limbah yaitu antara 6-9 (J. Hammer, 2004). Berdasarkan pengukuran pH, nilai pH air limbah adalah 6,8. Nilai ini menunjukkan bahwa air limbah berada dalam kondisi netral dan mendukung untuk pengolahan selanjutnya. Air limbah dengan konsentrasi hidrogen yang ekstrim akan sulit untuk dilakukan pengolahan secara biologis, dan jika konsentrasi tersebut tidak diubah sebelum dilakukan pembuangan (discharge), maka effluent air limbah dengan konsentrasi ion hidrogen yang ekstrim akan sulit untuk dilakukan pengolahan secara biologi. Sehingga, kondisi terlalu asam atau terlalu basa akan mengganggu kinerja proses yang dibantu oleh mikroorganisme pada IPAL.

Untuk rasio nilai BOD dan COD dari air limbah tersebut dihasilkan rasio sebesar 0,42. Rasio COD/BOD<sub>5</sub> mengindikasikan biodegradibilitas dari air buangan, semakin tinggi rasio maka semakin rendah biodegradibilitas dari air buangan (Mark J Hammer, 2004). Tingginya rasio BOD dan COD ini disebabkan oleh tingginya angka COD air limbah dibandingkan dengan angka BOD<sub>5</sub> yang jauh lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa air limbah ini membutuhkan pengolahan fisik dan kimia terlebih dahulu jika hendak digabungkan dengan pengolahan biologis yang ada. Namun, nilai rasio tersebut belum mempresentasikan nilai BOD<sub>5</sub> yang sebenarnya di lapangan karena nilai BOD<sub>5</sub> air limbah influent bisa lebih besar dari analisa laboratorium yang dilakukan. Hal ini berkaitan dengan kondisi eksisting *comminutor* yang telah dijelaskan pada bab 3. *Comminutor* yang tidak berfungsi sama sekali menyebabkan feses serta materi tidak hancur dan tidak terjadi homogenisasi sehingga nilai BOD<sub>5</sub> yang pada influent menjadi rendah. Sementara, kandungan COD dalam air limbah pada inlet sebesar 324,78 mg /L dan berada pada rentang konsentrasi medium. Kandungan COD ini berasal dari material organik yang sebagian besar mendominasi timbulan air limbah dari berbagai kegiatan di Kantor Pusat Pertamina. Nilai COD yang

tinggi juga akan terjadi disebabkan oleh tingginya kadar materi-materi inorganik yang dioksidasi oleh dikromat (Metcalf & Eddy, 2004).

Sementara nilai kandungan  $BOD_5$  dari hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa kualitas inlet IPAL berdasarkan nilai BOD berada pada rentang konsentrasi medium. Nilai BOD ini penting untuk mengetahui perkiraan jumlah oksigen yang akan diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada secara biologi (Metcalf & Eddy, 2004). Untuk kandungan TSS, nilainya berada pada rentang kualitas konsentrasi rendah. Jika konsentrasi TSS dalam air limbah tinggi maka dapat berpengaruh terhadap resirkulasi lumpur dan proses aerasi (Linvil, 1980).

Sementara untuk kandungan amoniak dalam air limbah, nilainya berada dalam rentang kualitas air limbah pada konsentrasi tinggi. Keberadaan ammonia dalam air limbah pada Kantor Pertamina ini berasal dari kegiatan kamar mandi/toilet yaitu berupa urine dan feces. Karena sebagian besar sumber timbulan air limbah adalah dari kegiatan kamar mandi/toilet maka kadar ammonia yang terdapat pada inlet IPAL relatif tinggi.

Kandungan minyak dan lemak air limbah di influent IPAL termasuk dalam kategori yang sangat rendah. Hal ini disebabkan karena air limbah dari kantin yang biasanya mengandung minyak dan lemak dalam kadar tinggi tidak diolah di IPAL. Walaupun terdapat beberapa aktivitas seperti kantin dan koperasi didalam Gedung Kantor Pusat Pertamina, namun debit air limbah dari kegiatan tersebut tidak masuk dan diolah di IPAL. Debit air limbah dari kegiatan kantin saat ini langsung di buang ke Sungai Ciliwung yang berada tepat dibelakang Kantor Pusat Pertamina.

Untuk evaluasi ini, debit air limbah dari kegiatan kantin akan disalurkan dan diolah IPAL sehingga diperlukan pengadaan *grease trap* pada kantin sehingga air limbah yang masuk ke IPAL tidak mengandung minyak dan lemak yang tinggi. Dalam air limbah kandungan minyak dan lemak harus disisihkan karena bila tidak akan mengganggu kehidupan biologi atau ekosistem air pada badan air penerima tempat dimana effluent air limbah dibuang. Selain itu, minyak dan lemak merupakan parameter yang wajib diperhatikan karena bersifat memiliki solubilitas rendah di air dan memiliki tendensi untuk memisah pada fase *aquous*.

(Sawyer,2003). Minyak dan lemak akan membentuk lapisan pada permukaan air sehingga akan mengurangi intensitas cahaya masuk ke dalam air.

Dari hasil analisis sampel influent, secara garis besar terlihat bahwa untuk parameter kimia anorganik, seluruh parameter memiliki nilai yang lebih rendah dari nilai yang di tampilkan oleh literatur. Sementara untuk paramater kimia organik, seperti COD, BOD dan Amonia menunjukkan nilai karakteristik yang berada pada rentang medium.

## 5.2 Analisa Proses Pengolahan

### 5.2.1 Proses Pada Unit Aerasi

Pada sistem pengolahan air limbah yang menggunakan sistem lumpur aktif, unit aerasi merupakan salah satu unit yang memegang peranan penting dalam proses pengolahan. Unit aerasi berfungsi mengalirkan udara ke air limbah agar terjadi pencampuran antara mikroorganismenya dengan bahan makanan, yaitu kandungan organik yang terdapat di air limbah (Metcalf & Eddy, 2004). Proses pencampuran dengan bantuan udara ini kemudian akan membentuk suatu flok yang dikenal sebagai lumpur aktif yang kemudian akan menstabilkan organik yang ada.

Berdasarkan hasil pengamatan visual yang dilakukan terhadap unit aerasi, ditemukan banyak padatan yang dibagian permukaan bak aerasi. Jika melihat kondisi padatan yang ada di bak aerasi, ada beberapa kemungkinan yang menjadi penyebab. Kemungkinan pertama adalah *course screen* yang tidak berfungsi dengan baik dikarenakan batang *screen* yang sudah banyak yang terlepas. Akibatnya banyak padatan yang tidak tersaring. Selain itu kemungkinan kedua adalah *comminutor* yang terdapat pada IPAL telah digunakan sejak awal IPAL beroperasi dan tidak pernah di ganti sehingga menyebabkan *comminutor* tidak bisa berfungsi lagi pada saat ini. Hal ini menyebabkan padatan yang masuk tidak hancur dan mengapung di permukaan unit aerasi.

Pengambilan sampel unit aerasi dilakukan pada titik input dan output bak aerasi 1 untuk menganalisis kinerja unit aerasi 1 dan pada titik output bak aerasi 2. Hasil pengukuran ini dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi dari unit aerasi yang akan dihitung selanjutnya.

Efektifitas dari unit aerasi dapat di lihat berdasarkan kandungan TSS, BOD, dan COD.

Berikut adalah hasil analisis TSS, BOD dan COD di unit aerasi :

Tabel 5.3 Hasil Analisa Laboratorium TSS, BOD, dan COD Unit Aerasi

Titik Sampel	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
Inlet Aerasi	197	136	324
Bak Aerasi 1	178*		
Outlet Aerasi 1	125	98	203,78
Bak Aerasi 2	154*		
Outlet Aerasi 2	90	47,5	85

\*konsentrasi MLSS

Sumber : Pemeriksaan Laboratorium BPLHD, 2012

Dari hasil analisis TSS, BOD, COD tersebut maka dapat diketahui nilai efisiensi removal dari unit aerasi.

Untuk efisiensi pada bak aerasi 1 nilai persentase removal kadar pencemar ditentukan dengan rumus :

Bak Aerasi 1

$$\% \text{ TSS removal} = \frac{(197 - 125)}{197} \times 100\% = 36\%$$

$$\% \text{ BOD removal} = \frac{(136 - 98)}{136} \times 100\% = 27\%$$

$$\% \text{ COD removal} = \frac{(324 - 203,78)}{324} \times 100\% = 37\%$$

Sedangkan untuk efisiensi pada bak aerasi 2 nilai persentase removal kadar pencemar adalah sebagai berikut :

Bak Aerasi 2

$$\% \text{ TSS removal} = \frac{(125 - 90)}{125} \times 100\% = 4\%$$

$$\% \text{ BOD removal} = \frac{(98 - 47,5)}{98} \times 100\% = 51\%$$

$$\% \text{ COD removal} = \frac{(203,78 - 85)}{203} \times 100\% = 58\%$$

## Evaluasi

- Kandungan MLSS pada bak aerasi 1 adalah 178 mg/L, sementara kandungan MLSS bak aerasi pada proses *extended aeration* yang sesuai kriteria desain pada tabel 2.12 adalah 2000-5000 mg/L. Selanjutnya untuk kandungan MLSS di bak aerasi 2 adalah 154 mg/L. Rendahnya kandungan MLSS pada ini dapat terjadi karena tidak sempurnanya pencampuran limbah di seluruh bak aerasi akibat tidak dilakukan penghancuran pada tahap pra-pengolahan. Limbah tersebut masih banyak ditemukan terapung di permukaan bak aerasi. Rendahnya nilai MLSS ini akan berpengaruh pada nilai F/M ratio yang menjadi rendah dan mempengaruhi proses pengolahan (Linvil, 1980).
- Hasil perhitungan % removal tersebut menunjukkan kondisi yang belum optimum dari unit aerasi untuk menyisihkan zat organik. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah tidak cukupnya suplai udara pada unit aerasi. Hal ini terjadi karena aerator tidak berfungsi dengan baik dan jarang dihidupkan. Bak aerasi 1 dapat menyisihkan kandungan BOD & TSS dibawah 50 % begitu pula pada bak aerasi 2 terlihat bahwa kinerja untuk penyisihan TSS belum berjalan dengan baik karena hanya dapat menyisihkan 4 % TSS. Selanjutnya untuk penyisihan COD, nilai removal bak aerasi 1 dan bak aerasi 2 juga tidak optimum. Hal ini juga disebabkan aerator yang tidak berfungsi dengan baik sehingga suplai oksigen di dalam bak aerasi tidak mencukupi.

Untuk melihat sejauh mana proses yang terjadi pada bak aerasi pada kondisi eksisting dan kondisi perencanaan, berikut akan perhitungan beberapa parameter kinerja pada sistem *activated sludge extended aeration* dan evaluasi pada kondisi eksisting.

### a. Kondisi Eksisting

Untuk perhitungan parameter kinerja pada kondisi eksisting digunakan nilai-nilai dibawah ini :

Q air limbah	= 190 m <sup>3</sup> /hari
V bak aerasi	= 171 m <sup>3</sup>
BOD <sub>in</sub>	= 136 mg/L = 0,136 kg/m <sup>3</sup>
BOD <sub>out</sub>	= 20 mg/L = 0,02 kg/m <sup>3</sup>
Y	= 0,4 kg/kg
$k_d$	= 0,07 hari <sup>-1</sup>
MLSS	= 178 mg/L
Kandungan Padatan Lumpur	= 8000 mg/L

Nilai debit air limbah merupakan pembulatan dari debit inlet IPAL yang telah dihitung sebelumnya pada kondisi eksisting dimana debit hanya berasal dari 2 gedung yaitu Gedung Annex dan Gedung Utama. Volume bak aerasi yang digunakan merupakan pembulatan dari volume yang telah dihitung sebelumnya. Untuk BOD<sub>in</sub> adalah konsentrasi BOD pada influen dan untuk BOD<sub>out</sub> menggunakan nilai BOD pada effluent berdasarkan pemeriksaan laboratorium. Kandungan MLSS yaitu kandungan MLSS dari pemeriksaan yang dilakukan di laboratorium. Untuk parameter Y, dan K<sub>d</sub> dari kandungan padatan lumpur menggunakan parameter kriteria desain.

Berikut ini adalah perhitungan parameter kinerja pada proses pengolahan air limbah :

#### 1. Perhitungan Kebutuhan Oksigen Teori

$$O_2 \frac{kg}{hari} = \frac{Q(S_0 - S)}{\frac{BOD_5}{BOD_L}} - 1,42 P_x$$

$$O_2 \frac{kg}{hari} = \frac{190m^3 (0,136 - 0,02)kg/m^3}{0,68} - 1,42 \times 2,6kg/hari$$

$$O_2 \frac{kg}{hari} = 28,26 kg/hari$$

Keterangan

Q = debit influen air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

So = Influen konsentrasi sBOD<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>)

S = effluen konsetrasi sBOD<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>)

Px = limbah lumpur aktif, VSS (kg/hari)

2. Perhitungan *Standar Oxygen Requirement* (SOR) sesuai dengan kondisi di lapangan :

Dengan nilai altitude = ± 12 m (dpl) , maka didapatkan :

$$F_a = \left( 1 - \frac{\text{altitude.m}}{9450} \right)$$

$$F_a = \left( 1 - \frac{12}{9450} \right) = 0,9987$$

Lalu dengan nilai A = 55 m<sup>2</sup> ; f = 0,5 m/d ; Ta = 18° Ti = 23° dan nilai Q = 190 m<sup>3</sup>/hari , maka didapatkan

$$T = \frac{55 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m/hari} \times 18^\circ + 190 \text{ m}^3 / \text{hari} \times 23^\circ}{55 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m/hari} + 190 \text{ m}^3 / \text{hari}}$$

$$T = 22,35^\circ$$

Sehingga nilai SOR yang di dapatkan adalah sebagai berikut :

$$SOR \text{ kg / hari} = \frac{N}{\left[ \frac{C'_{sw} \beta F_a - C'}{C_{sw}} \right] (1,024)^{T-20} \alpha}$$

$$SOR \text{ kg/hari} = \frac{28,26 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}}{\left[ \frac{9,15 \times 0,9 \times 0,9987 - 1,5 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{9,1} \right] (1,024)^{22,42-20} \times 0,9} = 40,68 \text{ kg/har}$$

3. Perhitungan volume udara yang dibutuhkan;

Dengan mengasumsikan bahwa berat udara adalah 1,201 kg/m<sup>3</sup> dan mengandung 23,3 % dari berat tersebut, maka ;

$$\text{Kebutuhan udara} = \frac{40,68 \text{ kg/hari}}{1,201 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,232 \text{ gO}_2 / \text{gudara}}$$

$$\text{Kebutuhan udara} = 146 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

Dengan asumsi efisiensi udara difuser 10 % :

$$\text{Kebutuhan udara} = \frac{146 \text{ m}^3 / \text{hari}}{0,1} = 1460 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan desain kebutuhan udara dengan nilai 150% dari kebutuhan udara teori (untuk mengantisipasi *headloss* pada pipa) :

$$\text{Total Kebutuhan Udara Desain} = 1460 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,5 = 2190 \text{ m}^3/\text{hari}$$

4. Cek Volume udara per kg BOD<sub>5</sub> yang disisihkan per m<sup>3</sup> air limbah yang diolah dan per m<sup>3</sup> volume bak aerasi :

Suplai Volume udara per kg BOD<sub>5</sub> yang disisihkan

$$= \frac{2190 \text{ m}^3 / \text{hari}}{(0,136 - 0,02) \text{ kg/m}^3 \times 190 \text{ m}^3/\text{hari}} = 96,4 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Suplai Volume udara per kg m<sup>3</sup> air limbah yang diolah

$$= \frac{2190 \text{ m}^3 / \text{hari}}{190 \text{ m}^3/\text{hari}} = 11,52 \text{ m}^3 \text{ udara} / \text{m}^3$$

Suplai volume udara ( m<sup>3</sup> per hari per m<sup>3</sup> volume bak aerasi)

$$= \frac{2190 \text{ m}^3 / \text{hari}}{171 \text{ m}^3 / \text{hari}} = 12,8 \text{ m}^3 \text{ udara} / \text{m}^3 / \text{hari}$$

5. Perhitungan HDT pada bak aerasi :

$$HDT = \frac{V}{Q} = \frac{190 \text{ m}^3}{171 \text{ m}^3 / \text{hari}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} = 22$$

$$HDT = 22 \text{ jam}$$

6. Perhitungan F/M ratio pada kondisi eksisting bak aerasi

$$F/M = \frac{QS_0}{XV}$$

$$F/M = \frac{190 \text{ m}^3 / \text{hari} \times 0,136 \text{ kg/m}^3}{0,178 \text{ kg/m}^3 \times 171 \text{ m}^3}$$

$$F/M = 0,84$$

7. Perhitungan F/M ratio pada kondisi ideal

$$F/M = \frac{QS_0}{XV}$$

$$F/M = \frac{190 \text{ m}^3 / \text{hari} \times 0,136 \text{ kg/m}^3}{2,5 \text{ kg/m}^3 \times 171 \text{ m}^3}$$

$$F/M = 0,06$$

## 8. Perhitungan BOD loading (organic loading) :

$$\text{Organic loading} = \frac{SoxQ}{V} = \frac{0,136 \text{ kg/m}^3 \times 190\text{m}^3 / \text{hari}}{171\text{m}^3}$$

$$\text{Organic loading} = 0,15 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}$$

## 9. Perhitungan BOD-MLSS loading proses pengolahan

$$\text{BOD-MLSS loading} = \frac{SoxQ}{MLSS \times V} = \frac{0,136 \text{ kg/m}^3 \times 190\text{m}^3 / \text{hari}}{0,178 \text{ kg/m}^3 \times 171\text{m}^3}$$

$$\text{BOD-MLSS loading} = 0,8 \text{ kg/kg.hari}$$

## Evaluasi

1. Berdasarkan perhitungan kebutuhan oksigen teori, *Standar Oxygen Requirement* (SOR), didapatkan nilai kebutuhan udara pada bak aerasi adalah 2190 m<sup>3</sup>/hari. Bila dibandingkan dengan kapasitas blower yaitu 3,5 m<sup>3</sup>/menit maka nilai kebutuhan udara masih terpenuhi bila blower dihidupkan dalam periode yang sesuai. Namun saat ini blower hanya dioperasikan selama 2 jam sehingga udara yang diberikan pada bak aerasi adalah 420 m<sup>3</sup>/hari. Dengan asumsi nilai efisiensi 10 % , maka nilai udara yang dialirkan hanya 42 m<sup>3</sup>/hari pada kondisi eksisting.
2. Hal yang penting untuk dilakukan dalam mengontrol proses pengolahan air limbah pada metode *activated sludge* salah satunya adalah dengan menjaga kandungan oksigen dalam bak aerasi pada rentang 1,5- 2 mg/L (Metcalf & Eddy, 2004). Sementara untuk kandungan DO dalam bak aerasi, berdasarkan pengukuran yang dilakukan secara langsung di bak aerasi dengan DO meter adalah 6,7 mg/L. Tingginya konsentrasi oksigen di bak aerasi ini kemungkinan disebabkan karena pengukuran dilakukan setelah blower baru saja dioperasikan. Seperti grafik yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Sementara ketersediaan DO dalam air limbah sangat juga diperlukan karena dapat mencegah pembentukan *noxious* odor (Sawyer, 2003).
3. Nilai HDT atau *Hydraulic Detention Time* untuk bak aerasi pada kondisi eksisting ini adalah selama 22 jam. Berdasarkan tabel 2.12, kriteria desain

untuk waktu tinggal hidraulik bak aerasi adalah 18-36 jam sehingga bak aerasi memiliki nilai HDT sesuai dengan kriteria desain.

4. Mengacu pada tabel 2.12, nilai F/M ratio untuk activated sludge extended aeration adalah 0,04- 0,1. Nilai F/M ratio yang telah dihitung diatas tidak termasuk dalam nilai F/M ratio kriteria desain, sehingga kurang baik untuk kinerja proses pengolahan. Nilai F/M ratio yang terlalu tinggi mengindikasikan bahwa jumlah mikroorganisme yang ada lebih sedikit dari pada jumlah *food* yang tersedia (Mark J Hammer, 2004). Terdapat beberapa alternatif yang memungkinkan untuk melakukan kontrol terhadap nilai F/M ratio diantaranya adalah dengan meningkatkan nilai *food*, atau mengurangi nilai mikroorganisme di dalam air limbah dengan mengurangi nilai MLSS di dalam bak aerasi. Kontrol untuk mengupayakan penambahan nilai *food* dalam air limbah dapat dilakukan dengan meningkatkan debit air limbah yang masuk ke IPAL dan meningkatkan kandungan materi organik dalam air limbah. Upaya yang juga dapat dilakukan antara lain dengan melakukan mixing dan penghancuran limbah secara sempurna sebelum masuk ke bak aerasi. Cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengganti comminutor yang telah rusak sehingga dapat dapat berfungsi kembali.
5. Hasil perhitungan dari nilai organik loading diatas sesuai dengan nilai kriteria desain yang biasa diterapkan untuk proses pengolahan *extended aeration*. Pada tabel 2.12, kriteria desain untuk *organic loading* adalah 0,16-0,4 sedangkan untuk BOD-MLSS loading adalah 0,04-0,10. Namun untuk nilai BOD-MLSS Loading belum termasuk dalam kriteria desai. Hal ini disebabkan oleh rendahnya nilai MLSS yang terkandung dalam bak aerasi. Perhitungan BOD-MLSS loading ini digunakan untuk mengontrol proses dalam bak aerasi bila terjadi beban organik limbah yang masuk dengan kadar tinggi (Linvil, 1980). Caranya adalah dengan menyesuaikan kandungan MLSS dengan nilai BOD air limbah melalui pengontrolan sirkulasi lumpur aktif ke saluran inlet limbah.

#### b. Kondisi Rencana

Untuk perhitungan paramater kinerja pada kondisi rencana digunakan nilai-nilai dibawah ini :

Q air limbah	= 220 m <sup>3</sup> /hari
V bak aerasi	= 171 m <sup>3</sup>
BOD <sub>in</sub>	= 190 mg/L = 0,136 kg/m <sup>3</sup>
BOD <sub>out</sub>	= 50 mg/L = 0,05 kg/m <sup>3</sup>
Y	= 0,4 kg/kg
$k_d$	= 0,07 hari <sup>-1</sup>
MLSS (x)	= 2500 mg/L = 2,5 kg/m <sup>3</sup>
Kandungan Padatan Lumpur	= 8000 mg/L

Nilai debit air limbah merupakan nilai dari debit inlet IPAL yang telah dihitung sebelumnya pada kondisi eksisting dimana debit berasal dari 2 gedung yaitu Gedung Annex dan Gedung Utama dan kemudian ditambah debit yang berasal dari Gedung Perwira dan kantin. Volume bak aerasi yang digunakan merupakan pembulatan dari volume yang telah dihitung sebelumnya. Untuk BOD<sub>in</sub> di gunakan menggunakan nilai karakteristik pada influen pada rentang konsentrasi medium pada karakteristik air limbah domestik berdasarkan tabel 2.6. Penggunaan nilai BOD pada konsentrasi medium ini karena adanya tambahan debit dari Gedung Perwira yang dapat meningkatkan nilai BOD dari nilai BOD pada kondisi eksisting.

Berikut ini adalah perhitungan kebutuhan oksigen untuk pengolahan air limbah pada kondisi perencanaan

#### 1. Perhitungan Kebutuhan Oksigen Teori

$$O_2 \frac{kg}{hari} = \frac{Q(S_0 - S)}{\frac{BOD_5}{BOD_L}} - 1,42 P_x$$

$$O_2 \frac{kg}{hari} = \frac{220(0,190 - 0,05 kg/m^3)}{0,68} - 1,42 \times 6,1 kg/hari$$

$$O_2 \frac{kg}{hari} = 37,7 \text{ kg/hari}$$

Keterangan

Q = debit influen air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

So = Influen konsentrasi sBOD<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>)

S = effluen konsetrasi sBOD<sub>5</sub> (g/m<sup>3</sup>)

Px = limbah lumpur aktif, VSS (kg/hari)

2. Perhitungan *Standar Oxygen Requirement* (SOR) sesuai dengan kondisi di lapangan ;

Dengan nilai altitude = ± 12 m (dpl) , maka didapatkan :

$$F_a = \left( 1 - \frac{\text{altitude.m}}{9450} \right)$$

$$F_a = \left( 1 - \frac{12}{9450} \right) = 0,9987$$

Lalu dengan nilai A = 55 m<sup>2</sup> ; f = 0,5 m/d ; Ta = 18° Ti = 23° dan nilai Q = 215 m<sup>3</sup>/hari , maka didapatkan

$$T = \frac{55 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m/hari} \times 18^\circ + 220 \text{ m}^3 \text{ /hari} \times 23^\circ}{55 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m/hari} + 220 \text{ m}^3 \text{ /hari}}$$

$$T = 22,43^\circ$$

Sehingga nilai SOR yang di dapatkan adalah sebagai berikut :

$$SOR \text{ kg} / d = \frac{N}{\left[ \frac{C'_{sw} \beta F_a - C'}{C_{sw}} \right] (1,024)^{T-20} \alpha}$$

$$SOR \text{ kg} / d = \frac{37,7 \frac{kg}{hari}}{\left[ \frac{9,15 \times 0,9 \times 0,9987 - 1,5 \frac{mg}{l}}{9,1} \right] (1,024)^{22,42-20} \times 0,9} = 54 \text{ kg/hari}$$

3. Perhitungan volume udara yang dibutuhkan;

Dengan mengasumsikan bahwa berat udara adalah  $1,201 \text{ kg/m}^3$  dan mengandung 23,3 % dari berat tersebut, maka ;

$$\text{Kebutuhanudara} = \frac{54 \text{ kg/hari}}{1,201 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,232 \text{ gO}_2 / \text{gudara}} = 195 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

$$\text{Kebutuhanudara} = \frac{195 \text{ m}^3 / \text{hari}}{0,1} = 1950 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan desain kebutuhan udara dengan nilai 150% dari kebutuhan udara teori (untuk mengantisipasi *headloss* pada pipa) :

$$\text{Total Kebutuhan Udara Desain} = 1950 \text{ m}^3 / \text{hari} \times 1,5 = 2916 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

4. Cek Volume udara per kg BOD<sub>5</sub> yang disisihkan, per m<sup>3</sup> air limbah yang diolah, dan per m<sup>3</sup> volume bak aerasi :

Suplai Volume udara per kg BOD<sub>5</sub> yang disisihkan

$$= \frac{2196 \text{ m}^3 / \text{hari}}{(0,19 - 0,05) \text{ kg/m}^3 \times 190 \text{ m}^3 / \text{hari}} = 94,68 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Suplai Volume udara per kg m<sup>3</sup> air limbah yang diolah

$$= \frac{2196 \text{ m}^3 / \text{hari}}{220 \text{ m}^3 / \text{hari}} = 13,25 \text{ m}^3 \text{ udara} / \text{m}^3$$

Suplai volume udara ( m<sup>3</sup> per hari per m<sup>3</sup> volume bak aerasi)

$$= \frac{2196 \text{ m}^3 / \text{hari}}{171 \text{ m}^3 / \text{hari}} = 17,04 \text{ m}^3 \text{ udara} / \text{m}^3 / \text{hari}$$

5. Perhitungan HDT pada bak aerasi :

$$\text{HDT} = \frac{V}{Q} = \frac{215 \text{ m}^3 / \text{hari}}{171 \text{ m}^3} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} = 19$$

$$\text{HDT} = 19 \text{ jam}$$

6. Perhitungan F/M ratio pada kondisi ideal

$$F/M = \frac{QS_0}{XV}$$

$$F/M = \frac{220 \times 0,19}{2,5 \times 171}$$

$$F/M = 0,09$$

7. Perhitungan BOD loading (organic loading) :

$$\text{Organic loading} = \frac{SoxQ}{V} = \frac{0,19 \text{ kg/m}^3 \times 220 \text{m}^3 / \text{hari}}{171 \text{m}^3}$$

$$\text{Organic loading} = 0,24 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}$$

10. Perhitungan BOD-MLSS loading proses pengolahan

$$\text{BOD-MLSS loading} = \frac{SoxQ}{MLSS \times V} = \frac{0,19 \text{ kg/m}^3 \times 220 \text{m}^3 / \text{hari}}{2,5 \text{ kg/m}^3 \times 171 \text{m}^3}$$

$$\text{BOD-MLSS loading} = 0,09 \text{ kg/kg.hari}$$

Untuk kandungan MLSS di dalam bak aerasi pada kondisi rencana, nilai yang digunakan adalah nilai pada kriteria desain. Rata-rata kandungan MLSS di bak aerasi pada proses activated sludge dengan tipe extended aeration adalah sebesar 2000-5000 mg/L. Nilai yang digunakan untuk perhitungan adalah 2500 mg/L

Nilai F/M ratio pada kondisi perencanaan yang telah dihitung diatas berdasarkan nilai pada parameter desain telah sesuai dengan kriteria desain pada tabel 2.12. Dengan adanya penambahan debit air limbah, kinerja proses pengolahan tetap dapat berjalan optimum.

Hasil perhitungan dari nilai organik loading dan BOD-MLSS loading untuk kondisi perencanaan sudah sesuai dengan nilai loading kriteria desain yang biasa diterapkan untuk proses pengolahan extended aeration. Kriteria desain untuk organik loading adalah 0,16-0,4 sedangkan untuk BOD-MLSS loading adalah 0,04-0,10. Sehingga bila terjadi penambahan debit dan peningkatan konsentrasi BOD, proses pengolahan masih dapat berjalan dengan baik dengan memperhatikan parameter kinerja lainnya.

Selanjutnya perhitungan kembali dimensi bak aerasi untuk mengetahui kelayakannya terhadap kenaikan debit yang mungkin terjadi. Dengan mengacu pada desain bak aerasi di lapangan yaitu :

Bak aerasi 1 : P = 7,2 m L = 6m T= 3,1 m (freeboard : 50-90cm)

Bak aerasi 1 : P = 2 m L = 6m T= 3,1 m (freeboard : 50-90cm)

- Bak Aerasi 1

$$V_{\text{maksimum}} = P \times L \times T$$

$$V_{\text{maksimum}} = 7,2 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 3,1 \text{ m} = 133,92 \text{ m}^3$$

- Bak Aerasi 1

$$V_{\text{maksimum}} = P \times L \times T$$

$$V_{\text{maksimum}} = 2 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 3,1 \text{ m} = 37,2 \text{ m}^3$$

Maka, total volume untuk keseluruhan bak aerasi adalah 171,3 m<sup>3</sup>. Dengan menggunakan volume air limbah yang diolah sebesar 171,3 m<sup>3</sup>, maka bak aerasi yang digunakan harus dapat mengolah pertambahan debit pada kondisi perencanaan. Pengecekan nilai debit air limbah yang dapat menyebabkan volume air limbah pada bak aerasi mencapai nilai maksimum dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{1}{\theta c} = \frac{Q Y (S_0 - S)}{V \cdot x} - kd$$

Sehingga mendapatkan perhitungan debit sebagai berikut :

$$Q = \frac{V \cdot x (1 + kd\theta c)}{\theta c Y (S_0 - S)} - kd$$

Dengan menggunakan parameter desain pada kondisi perencanaan dan volume air limbah dalam kondisi maksimum, maka didapatkan debit maksimum yang dapat diolah dengan dimensi bak aerasi yang ada sebesar :

$$Q = \frac{171 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ kg/hari} (1 + \frac{0,04}{\text{hari}} 30 \text{ hari})}{30 \text{ hari} \times 0,4 (0,190 - 50) \text{ kg/m}^3}$$

$$Q = 789 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

Maka dari itu, bila terjadi kenaikan debit influent air limbah diatas 789 m<sup>3</sup>/hari , perlu dilakukan desain ulang dimensi bak aerasi agar pengolahan air limbah dapat berlangsung dengan baik.

### 5.2.2 Proses Pada Unit Sedimentasi

Unit sedimentasi yang terdapat pada proses pengolahan ini memiliki fungsi untuk menampung lumpur. Lumpur yang dihasilkan selanjutnya ada yang diresirkulasi kembali ke dalam bak aerasi menjadi activated sludge. Berdasarkan keterangan yang didapatkan di lapangan, diketahui bahwa tidak pernah dilakukan pengurasan lumpur yang ada pada unit sedimentasi.

Secara visual, pengamatan pada unit sedimentasi menunjukkan banyak *scum* atau lumpur yang mengapung. Lumpur yang mengapung berupa padatan halus dalam jumlah yang signifikan. Berikut adalah hasil pemeriksaan nilai TSS, BOD dan COD pada unit sedimentasi

Tabel 5.4 Hasil Analisa TSS, BOD, COD pada Unit Sedimentasi

Titik Sampel	TSS	BOD	COD
Inlet Sedimentasi	90	47,5	85
Outlet Sedimentasi	45	37	80

Sumber : Hasil Pemeriksaan BPLHD, 2012

Dari hasil analisis TSS, BOD, COD tersebut maka dapat diketahui nilai efisiensi removal dari unit aerasi.

Untuk efisiensi pada bak aerasi nilai persentase removal kadar pencemar ditentukan dengan rumus

Bak Sedimentasi

$$\% \text{ TSS removal} = \frac{(90-45)}{90} \times 100\% = 50 \%$$

$$\% \text{ BOD removal} = \frac{(47,5-37)}{47,5} \times 100\% = 22 \%$$

$$\% \text{ COD removal} = \frac{(85-80)}{85} \times 100\% = 5\%$$

Berdasarkan perhitungan unit sedimentasi ini, diketahui bahwa unit ini berhasil mengurangi kandungan COD sebesar 5% , BOD air limbah sebesar 22% dan TSS sebesar 50%. Angka ini menunjukkan bahwa pada tangki sedimentasi ini, proses yang terjadi belum optimal. Terdapat lumpur yang sifatnya mengapung dan mengumpul di permukaan. Lumpur ini bisa jadi disebabkan oleh umur lumpur yang terlalu lama. Umur lumpur yang terlalu lama ini dapat disebabkan karena

intensitas pembuangan lumpur yang kurang. Lumpur yang terbentuk sebagai endapan dari proses yang terjadi pada tangki sedimentasi ini belum pernah di buang selama 4 tahun terakhir.

Selanjutnya adalah perhitungan-perhitungan yang digunakan untuk desain pengolahan lumpur. Parameter yang digunakan menggunakan nilai parameter desain untuk kondisi eksisting dan kondisi perencanaan

a. Kondisi Eksisting

1. Perhitungan Sludge Retention Time ( SRT , Mean Cell Residence Time ;  $\theta_c$ )

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{QY(S_o - S)}{V \cdot x} - k_d$$

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{190 \text{ m}^3 / \text{hari} \cdot 0,4(0,136 - 0,02)}{171,1 \text{ m}^3 \cdot 2,5 \text{ mg/L}} - 0,07$$

$$\frac{1}{\theta_c} = 0,14$$

$$\theta_c = 6,68 = 7 \text{ hari}$$

2. Perhitungan massa dan volume lumpur yang harus dibuang per harinya

$$\theta_c = \frac{\text{mass of solids in reactor}}{\text{mass of solids wasted}} = \frac{V \cdot x}{Q_w \cdot x_u}$$

$$Q_w \cdot x_u = \frac{V \cdot x}{\theta_c} = \frac{190 \text{ m}^3 / \text{hari} \cdot 2,5}{7 \text{ hari}} = 63,96 \text{ kg/hari}$$

$$Q_w = \frac{63,96 \text{ kg/hari}}{8 \text{ kg/m}^3} = 7,99 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

3. Perhitungan *return sludge rate*

$$MLSS(Q + Q_r) = TSS_{\text{sludge}} \times Q_r$$

$$2500 \text{ mg/L}(190 + Q_r) \text{ m}^3 / \text{hari} = 8000 \text{ mg/L} \times Q_r$$

$$Q_r = 86,36 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

Jika dilihat kembali pada perhitungan nilai resirkulasi lumpur yang harus dibuang per hari (*waste sludge*), didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan resirkulasi lumpur aktif per harinya.

Bila suatu saat didapati nilai BOD yang tinggi dari air limbah , maka debit pengaliran untuk resirkulasi lumpur aktif dapat digunakan sebagai

pengontrol proses agar nilai F/M ratio sesuai dengan kriteria desain yang ada (tidak terlalu rendah). Selanjutnya, cek nilai rasio sirkulasi lumpur dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Q_r}{Q} = \frac{86 \text{ m}^3 / \text{hari}}{190 \text{ m}^3 / \text{hari}} = 0,45$$

Evaluasi :

1. Berdasarkan perhitungan, nilai *sludge retention time* yang didapatkan adalah selama 8 hari. Bila dibandingkan dengan nilai SRT pada kriteria desain yang berada pada rentang 20-40 hari (Metcalf % Eddy, 2004) maka nilai SRT pada kondisi eksisting tidak memenuhi kriteria desain. Penyebab dari kecilnya nilai SRT ini bisa disebabkan karena nilai konsentrasi MLSS dan konsentrasi padatan yang terkandung dalam lumpur yang diresirkulasikan.
2. Debit Resirkulasi lumpur yang didapatkan dengan perhitungan kriteria desain adalah 86 m<sup>3</sup>/hari. Sementara debit pada kondisi eksisting adalah 106,8 m<sup>3</sup>/hari. Hal ini berkaitan dengan tingginya nilai F/M Ratio. F/M ratio dapat dikontrol dengan cara mengatur laju sirkulasi lumpur aktif dari pengendap akhir yang disirkulasikan ke bak aerasi. Lebih tinggi laju sirkulasi lumpur aktif, lebih tinggi pula rasio F/M (Linvil, 1980). Dengan menyesuaikan debit pengembalian lumpur, maka dapat disesuaikan pula nilai F/M ratio pada kondisi eksisting yang masih tinggi. Dengan menurunkan rasio F/M maka pengolahan akan semakin efisien.
3. Berdasarkan pengamatan di lapangan pada bak sedimentasi, terdapat tumpukan lumpur di dasar bak. Kondisi yang terjadi pada tumpukan lumpur yang terlalu lama mengendap dapat meningkatkan kebutuhan oksigen air limbah karena metabolisme lumpur yang terjadi.
4. Pengendapan lumpur tergantung F/M ratio dan umur lumpur. Pengendapan yang baik dapat terjadi jika lumpur mikroorganisme berada dalam fase endogeneous, yang terjadi jika karbon dan sumber energi terbatas dan jika pertumbuhan bakteri rendah. Pengendapan lumpur yang baik dapat terjadi pada F/M ratio yang rendah (contohnya tingginya MLSS). Sebaliknya F/M ratio yang tinggi dapat mengakibatkan pengendapan lumpur yang buruk (Linvil, 1980). Nilai

F/M ratio yang didapatkan sangat rendah sehingga pengendapan lumpur juga tidak terjadi dengan baik. Hal ini dapat dilihat dengan adanya padatan lumpur yang mengapung pada permukaan bak sedimentasi.

#### b. Kondisi Perencanaan

##### 1. Perhitungan Sludge Retention Time ( SRT , Mean Cell Residence Time ; $\theta_c$ )

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{QY(S_o - S)}{V \cdot x} - k_d$$

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{220 \text{ m}^3 / \text{hari} \cdot 0,4(0,19 - 0,05)}{171,1 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ kg/m}^3} - 0,07$$

$$\frac{1}{\theta_c} = 0,04$$

$$\theta_c = 24,2 \text{ hari} = 24 \text{ hari}$$

##### 2. Perhitungan massa dan volume lumpur yang harus dibuang per harinya

$$\theta_c = \frac{\text{mass of solids in reactor}}{\text{mass of solids wasted}} = \frac{V \cdot x}{Q_w \cdot x_u}$$

$$Q_w \cdot x_u = \frac{V \cdot x}{\theta_c} = \frac{220 \text{ m}^3 / \text{hari} \cdot 2,5}{3 \text{ hari}} = 1,22 \text{ kg/hari}$$

$$Q_w = \frac{10,23 \text{ kg/hari}}{3} = 0,15 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

##### 3. Perhitungan *return sludge rate*

$$MLSS(Q + Q_r) = TSS_{sludge} \times Q_r$$

$$2500 \text{ mg/L}(220 + Q_r) \text{ m}^3 / \text{hari} = 8000 \text{ mg/L} \times Q_r$$

$$Q_r = 100 \text{ m}^3 / \text{hari}$$

Selanjutnya, cek nilai rasio sirkulasi lumpur dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Q_r}{Q} = \frac{100 \text{ m}^3 / \text{hari}}{220 \text{ m}^3 / \text{hari}} = 0,45\%$$

#### 5.2.3 Analisa Unit Klorinasi

Unit Klorinasi pada IPAL Kantor Pusat Pertamina sangat jarang di gunakan sebagai tempat proses desinfeksi karena tidak dilakukan injeksi

klor secara rutin. Terdapat tabung klorinasi di dalam IPAL namun sudah tidak dapat berfungsi dengan baik. Bila injeksi dilakukan, klor akan dimasukkan pada titik inlet bak klorinasi, namun tidak terjadi pencampuran klor dengan baik karena tidak adanya mekanisme pencampuran. Saat dilakukan analisis terhadap kandungan klorida, tidak didapatkan nilai klorida (Cl<sup>-</sup>) pada unit ini sehingga tidak dapat dihitung nilai konsentrasi OCI .

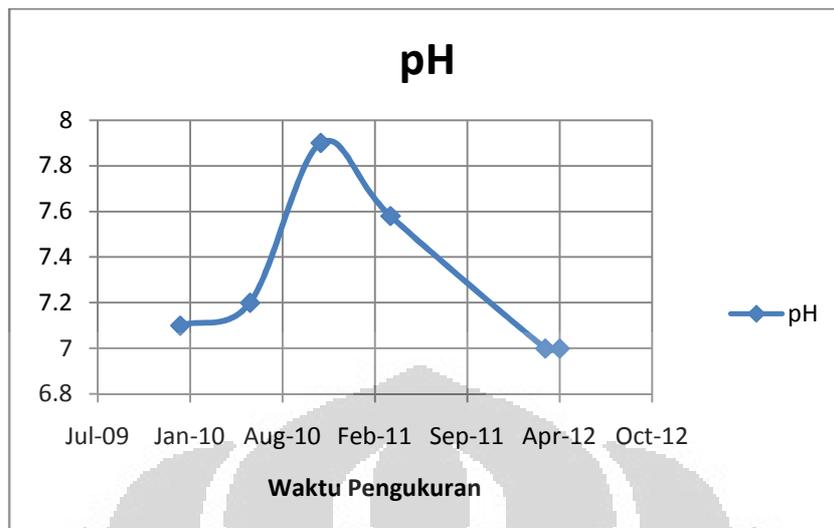
Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium, kandungan bakteri koliform tinja dan total koliform adalah >16000 Jml/100 mL. Pada dasarnya, unit klorinasi yang diterapkan pada instalasi pengolahan air limbah digunakan untuk mengurangi efek bakteriologis effluent terhadap badan air penerima yang dalam hal ini adalah kali ciliwung. Namun unit ini akan lebih penting dan krusial untuk dioperasikan karena air limbah yang telah di IPAL akan digunakan kembali sebagai air baku air minum, maka kandungan koliform tinja harus memenuhi kadar maksimum sebesar 2.000 koliform (per 100 mL) dan total koliform dengan kadar 10.000 koliform (per 100 mL.)

### **5.3 Analisa Outlet Air Limbah**

#### **5.3.1 Analisa Effluent Berdasarkan Standar Baku Mutu**

Selanjutnya akan dilakukan analisis untuk setiap parameter yang telah ditetapkan oleh Pergub No. 122 Tahun 2005 ini, yaitu nilai pH, Kandungan Zat organik, Zat Padat Tersuspensi, Ammonia, Minyak dan Lemak, COD dan BOD. Data pada tahun 2010-2011 pada grafik ini merupakan data dari HSE Pertamina , sementara data pada bulan Maret 2012 dan April 2012 merupakan analisis laboratorium yang merupakan analisis laboratorium yang penulis lakukan di lab. BPLHD.

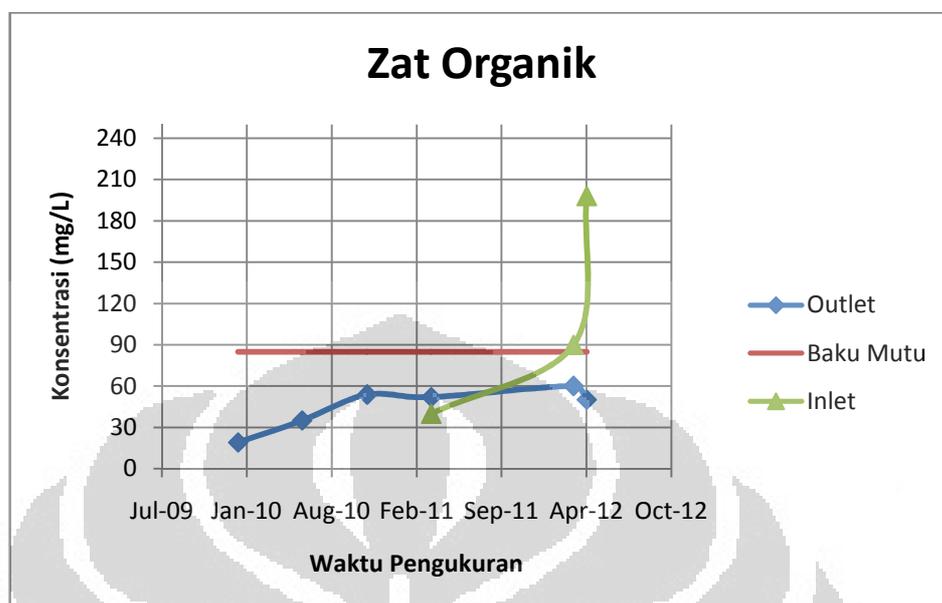
## a. pH



Gambar 5.1 Grafik nilai pH pada effluent IPAL  
Sumber : Pemeriksaan Laboratorium

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai pH pada outlet IPAL Kantor Pusat Pertamina berada pada yang aman untuk dibuang ke badan air yang dalam hal ini adalah Kali Ciliwung. Berdasarkan baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh Pergub DKI Nomor 122 Tahun 2005 Tentang Limbah Domestik, dinyatakan bahwa derajat keasaman air limbah yang aman dibuang ke badan air penerima adalah yang berada dalam rentang pH 6-9.

Berdasarkan data hasil pemeriksaan kualitas air limbah pada outlet IPAL terlihat bahwa derajat keasaman air limbah berada pada kondisi normal yaitu pada rentang 7,1-7,8. Angka baku mutu pada rentang 6-9 untuk derajat keasaman ini adalah karena pada rentang tersebut air berada pada kondisi netral, tidak terlalu asam dan tidak terlalu basa. Jika kondisi air limbah yang telah di olah di IPAL masuk ke badan air terlalu asam maka dapat mengganggu stabilitas ekosistem di badan air tersebut. Sedangkan jika air yang masuk ke badan penerima terlalu basa, maka badan air tersebut akan mengandung kesadahan tinggi dan hal ini juga akan mengganggu kualitas badan air penerima.

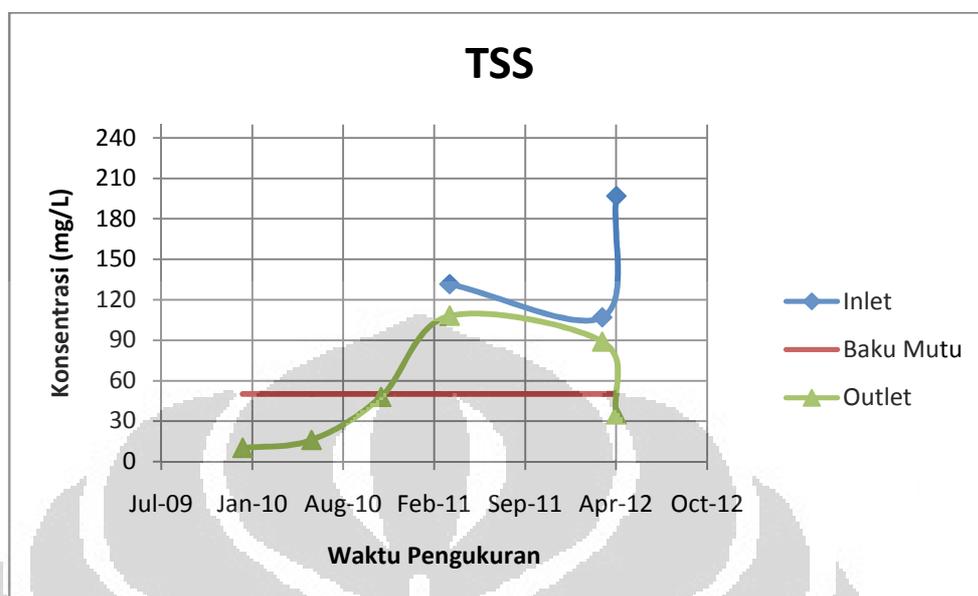
b. Zat Organik ( $\text{KMNO}_4$ )

Gambar 5.2 Grafik kandungan zat organik pada effluent IPAL

Sumber : Pemeriksaan Laboratorium

Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa kandungan zat organik  $\text{KMNO}_4$  pada outlet air limbah berada pada kondisi yang masih berada di bawah baku mutu. Berdasarkan baku mutu yang ditetapkan melalui Pergub DKI Nomor 122 Tahun 2005, dinyatakan bahwa kadar maksimal zat organik  $\text{KMNO}_4$  pada air limbah adalah 85 mg/L. Sedangkan pada effluent IPAL dapat dilihat bahwa kandungan  $\text{KMNO}_4$  berada pada rentang 50 – 60 mg/L. Artinya air limbah yang diolah di IPAL Kantor Pusat Pertamina cukup aman untuk di buang ke badan air penerima. Secara teoritis, jika nilai permanganat yang terkandung di dalam air limbah terlalu tinggi maka dapat menimbulkan warna, rasa dan bau serta kekeruhan pada air.

## c. TSS



Gambar 5.3 Grafik kandungan TSS pada effluent IPAL

Sumber : Pemeriksaan Laboratorium BPLHD, 2010-2012

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa beberapa data kandungan TSS pada air olahan dari IPAL berada di atas baku mutu yang ditetapkan oleh Pergub DKI Nomor 122 Tahun 2005. Pada outlet IPAL, effluent yang dihasilkan mengandung TSS yang relatif tinggi. Nilai TSS yang terkandung pada effluent berada pada rentang 10-110 dengan baku mutu 50 mg/L.

Angka ini menunjukkan bahwa treatment yang diberikan pada air limbah yang masuk pada unit IPAL tidak selamanya berjalan efektif untuk menurunkan kandungan TSS air limbah sehingga ada waktu-waktu dimana effluent tidak aman untuk dibuang ke badan air. Selain itu, kandungan TSS yang tinggi pada influent yang masuk ke IPAL turut berkontribusi menjadikan kandungan TSS di effluent tetap tinggi. Dapat dilihat pada pemeriksaan 3 bulan terkakhir hubungan antara tingginya influent dan effluent.

## d. Minyak dan Lemak

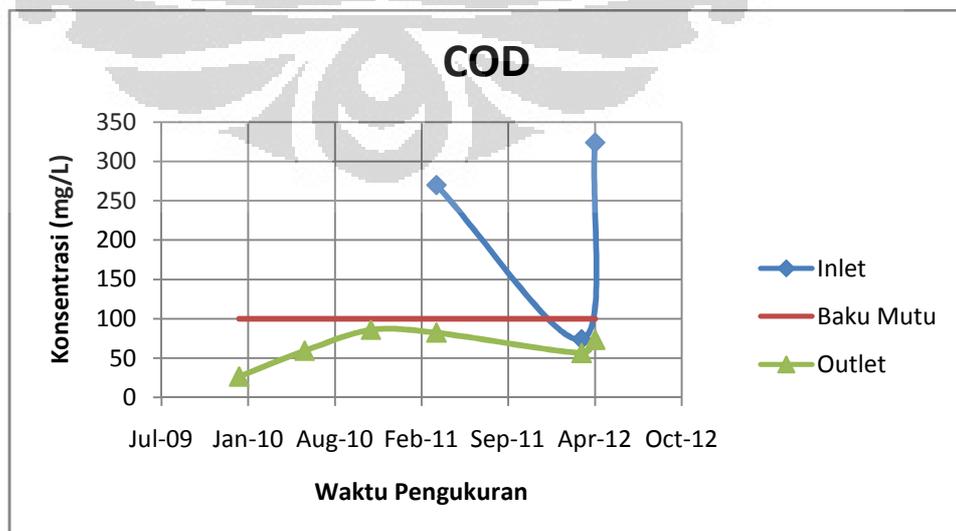


Gambar 5.4 Grafik kandungan minyak dan lemak pada effluent IPAL

Sumber : Pemeriksaan Laboratorium BPLHD , 2010-2012

Data konsentrasi minyak dan lemak seperti yang terlihat pada grafik dapat dinyatakan jauh dibawah nilai baku mutu. Nilai yang terukur untuk konsentrasi minyak dan lemak rata-rata adalah 1,13 mg/l. Konsentrasi yang kecil ini kemungkinan besar disebabkan karena air limbah dari kantin yang ada di Kantor Pusat Pertamina ini tidak di olah di dalam IPAL. Hal ini menjadikan beban minyak dan lemak yang masuk ke IPAL menjadi relatif kecil.

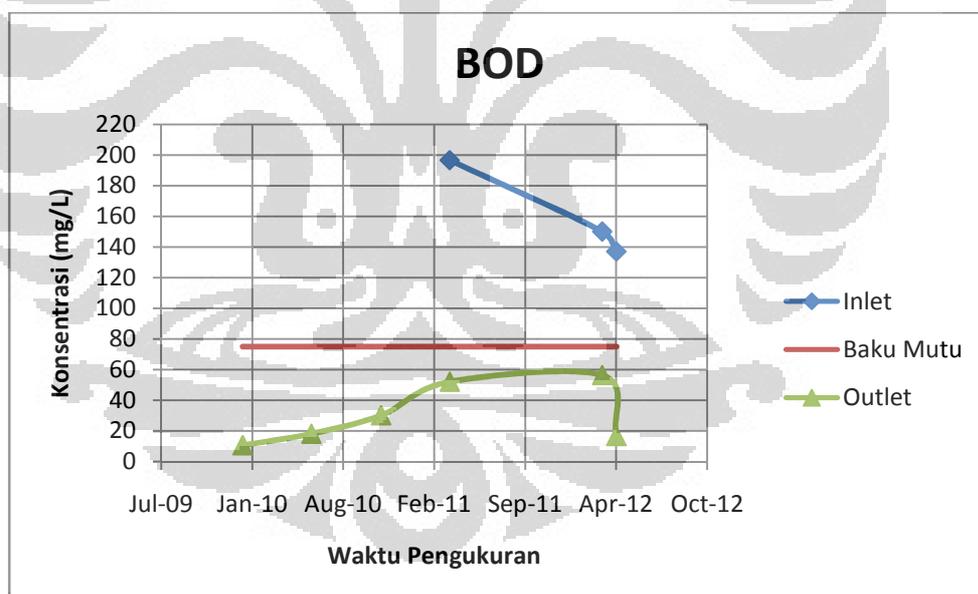
## e. COD



Gambar 5.5 Grafik kandungan COD pada effluent IPAL  
 Sumber : Sumber : Pemeriksaan Laboratorium BPLHD , 2010-2012

Konsentrasi COD pada effluent air limbah secara umum dapat dikatakan memenuhi baku mutu yang disarakan. Dengan rentang 20- 80 mg/L, nilai ini jauh lebih rendah dibanding dari baku mutu yang diperbolehkan sebesar 100 mg/l. Jika dilihat dari efisiensi penurunan kadar pencemar COD dapat disimpulkan bahwa proses pengolahan sekunder yang terjadi atau dalam hal ini proses biologis cukup berjalan dengan baik. Proses pengolahan sekunder dengan sistem ini dinilai efektif untuk menurunkan kadar COD yang terkandung dalam air limbah dimana efisiensi penurunan kadar pencemar COD yang dalam hal ini diperlihatkan oleh persentase removal dengan nilai mencapai 77 %.

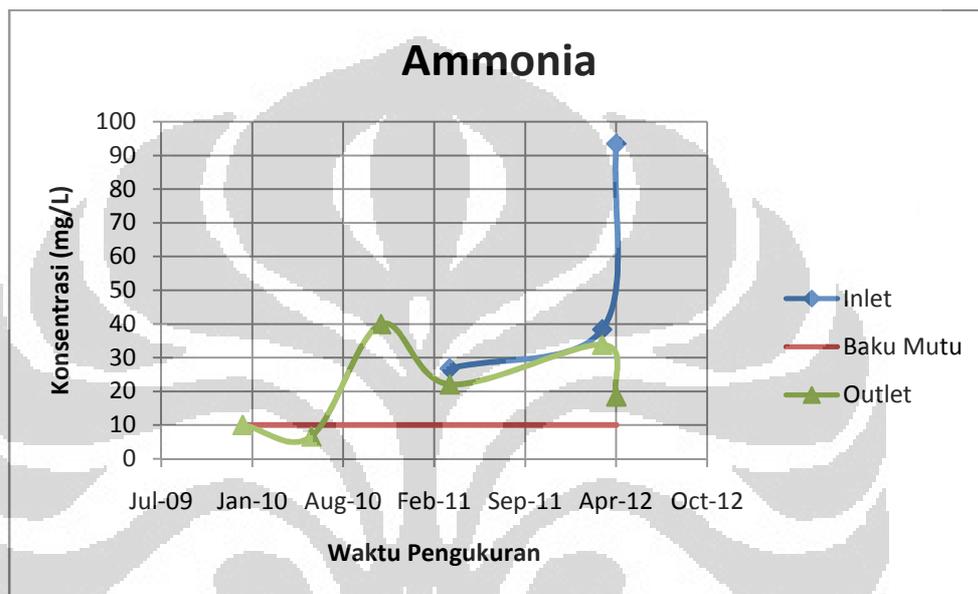
e. BOD



Berdasarkan grafik, dapat dilihat bahwa kandungan BOD pada effluent IPAL relatif rendah. Dengan rentang nilai BOD pada effluent 30 -140 mg/L sedangkan baku mutu yang ditetapkan oleh Pergub DKI No.122/2005 adalah pada kadar 50 mg/L.

Dengan kadar BOD mencapai pada 136 mg/L inlet maka untuk mencapai baku mutu yang aman untuk lingkungan dibutuhkan removal yang cukup tinggi. Dengan optimalnya proses pengolahan, maka efisiensi pengolahan BOD dapat mencapai 70%. Hal ini menjadikan kandungan BOD yang terdapat pada effluent dapat berada jauh dibawa baku mutu sehingga aman untuk dibuang ke badan air.

f. Ammonia



Gambar 5.6 Kandungan ammonia pada effluent IPAL  
Sumber : Pemeriksaan Laboratorium BPLHD , 2010-2012

Berdasarkan grafik kandungan ammonia diatas, dapat diketahui bahwa kandungan ammonia pada effluent tidak aman karena berada diatas baku mutu lingkungan. Berdasarkan data hasil pengujian kualitas effluent air limbah ini berada pada rentang 10-40 mg/L dengan baku mutu 10 mg/L

Keberadaan ammonia dalam air limbah ini, selain akibat reaksi dari nitrogen, juga di pengaruhi oleh jumlah populasi di Kantor Pusat Pertamina. Semakin tinggi jumlah populasi, maka ammonia yang terkandung didalam timbulan air limbah juga akan relatif tinggi. Hal ini karena salah satu penyumbang amonia terbesar dalam air limbah domestik adalah akibat urine dan feces manusia. Jadi jika tingkat populasi manusia yang tinggi maka dapat dipastikan bahwa kandungan ammonia dalam timbulan air limbah juga tinggi. Dari beberapa

effluent IPAL Kantor Pusat Pertamina ini, kandungan ammonia sebagian besar berada diatas baku mutu. Artinya, treatment yang terjadi pada IPAL belum optimal untuk penurunan ammonia.

#### 5.4 Analisa Efisiensi Total Proses Pengolahan

Efisiensi total di hitung berdasarkan kualitas influent yang masuk ke unit pengolahan dan kualitas effluent yang telah di olah di IPAL. Hal ini bertujuan untuk melihat kinerja IPAL secara keseluruhan. Efisiensi penyisihan tersebut dihitung berdasarkan rumus pada persamaan 3.1. Berikut adalah hasil perhitungan efisiensi proses pengolahan pada IPAL.

Tabel 5.5 Efisiensi Total Pengolahan Air Limbah

Parameter	Influent	Effluent	Efisiensi (%)
TSS	197	35	82
BOD	136,76	31	77
COD	324	73	77
Ammonia	94	18,5	80
Zat Organik	198	50,19	74

Sumber : Hasil Pemeriksaan Laboratorium , 2012

Secara umum proses pengolahan air limbah pada Kantor Pusat Pertamina berdasarkan hasil pemeriksaan karakteristik air limbah pada bulan April 2012 sudah berjalan cukup optimal. Hal ini ditandai dengan efisiensi pengolahan yang mendekati rentang kriteria desain efisiensi pengolahan proses *activated sludge* yaitu 85-95% dimana efisiensi pengolahan untuk BOD<sub>5</sub> pada instalasi ini adalah 77%. Begitu pula untuk efisiensi penurunan kadar TSS, COD, zat organik, dan ammonia. Namun, untuk efisiensi untuk ammonia dan zat organik masih perlu ditingkatkan karena masih berada di bawah atas baku mutu.

Akan tetapi proses pengolahan secara biologis dinilai masih belum optimal karena efisiensi penurunan kadar BOD dan COD masih belum mencapai angka 85%.

Berdasarkan perhitungan parameter-parameter kinerja proses *activated sludge extended aeration*, proses yang terjadi pada IPAL belum cukup optimal karena masih banyak parameter pada kondisi eksisting yang tidak sesuai dengan kriteria desain pada literatur.

Berdasarkan perhitungan, nilai F/M ratio yang merupakan perbandingan jumlah makanan dengan jumlah mikroorganisme terlalu tinggi dimana hal ini berarti jumlah mikroorganisme yang ada terlalu sedikit dibandingkan dengan “food” yang ada. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan suplai udara yang diberikan pada bak aerasi. Dari perhitungan kebutuhan udara pada bak aerasi, suplai udara yang diberikan lebih sedikit dari pada hasil perhitungan yang dilakukan. Suplai udara tersebut penting karena berkaitan dengan kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk respirasi mikroorganisme dan oksidasi lainnya. Debit resirkulasi lumpur yang rendah juga berpengaruh terhadap jumlah F/M ratio. Karena lumpur pada bak sedimentasi yang di kembalikan lagi ke bak aerasi sedikit, hal ini berarti jumlah mikroorganisme dikembalikan pada bak aerasi tidak mencukupi untuk menguraikan zat organik yang masuk ke bak aerasi. F/M ratio dapat dikontrol dengan cara mengatur laju sirkulasi lumpur aktif dari bak pengendap akhir yang di sirkulasi ke bak aerasi. Lebih tinggi laju sirkulasi lumpur aktif lebih tinggi pula rasio F/M nya. Rasio F/M yang rendah menunjukkan bahwa mikroorganisme dalam tangki aerasi dalam kondisi lapar, semakin rendah rasio F/M pengolah limbah semakin efisiensi.

Umur lumpur pada kondisi eksisting IPAL juga tidak memenuhi kriteria desain. Umur lumpur yang hanya 7 hari kemungkinan menyebabkan tidak terjadinya kompak sehingga sulit untuk mengendap. Semakin lama umur lumpur maka waktu kontak lumpur dengan limbah semakin lama sehingga proses perombakan berlangsung dalam waktu lama dan pencemar yang dirombak juga semakin banyak ( Nyoman, 1996).

## BAB 6

### KESIMPULAN

#### 6.1 Kesimpulan

1. Terjadi penurunan kinerja IPAL akibat alat-alat seperti *coarse screen*, *comminutor*, dan pipa resirkulasi lumpur yang tidak berfungsi dengan baik karena tidak pernah diperbaiki sejak awal masa pengoperasian IPAL.
2. Parameter kinerja pada bak aerasi yang memenuhi kriteria desain adalah organik loading sebesar  $0,15 \text{ kg BOD/m}^3$ . Sedangkan parameter kinerja yang tidak sesuai dengan kriteria desain adalah rasio F/M yang tinggi yaitu 0.84, nilai BOD-MLSS loading  $0,8 \text{ kg/kg.hari}$ , kandungan MLSS yang sangat rendah yaitu  $178 \text{ mg/L}$  dan debit pengaliran udara sebesar  $420 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Pada bak sedimentasi parameter kinerja yang tidak sesuai adalah debit resirkulasi lumpur sebesar  $54 \text{ m}^3/\text{hari}$  dan nilai *sludge retention time* yaitu 7 hari.
3. Konsentrasi BOD pada inlet air limbah  $136,76 \text{ mg/L}$ , COD  $324,78 \text{ mg/L}$ , TSS  $197 \text{ mg/L}$ , Ammonia  $38,36 \text{ mg/L}$ , Zat Organik  $197,58 \text{ mg/L}$ , dan Minyak dan Lemak  $1,13 \text{ mg/L}$ .
4. Efisiensi dari bak aerasi 1 untuk penyisihan TSS adalah 36 %, BOD 27 % dan COD sebesar 37%. Sedangkan untuk bak aerasi 2, penyisihan TSS, BOD, COD adalah 4%, 51% dan 58%. Pada bak sedimentasi, efisiensi penyisihan BOD sebesar 50%, TSS 22 % dan COD sebesar 2%.
5. Berdasarkan nilai influent dan effluent, efisiensi total dari instalasi pengolahan air limbah untuk menurunkan kadar COD adalah 77% , TSS 82%, BOD 77%, Ammonia 80%, dan Zat Organik 74%.

## 6.2 Saran

1. Limbah padat yang dibuang lewat saluran pembuangan air limbah dapat menghambat kinerja IPAL sehingga perlu dilakukan perbaikan terhadap *coarse screen* dan *comminutor* agar terjadi homogenisasi limbah sebelum masuk ke instalasi pengolahan.
2. Meningkatkan debit resirkulasi lumpur dan pembuangan lumpur dengan memperbaiki kembali pipa yang tidak berfungsi
3. Perlu di sediakan unit *grease trap* untuk kondisi perencanaan dimana debit air limbah dari kantin akan diolah di IPAL
4. Mengontrol dosis klorin yang digunakan sesuai dengan baku mutu koliform dan melakukan injeksi klorin secara rutin.
5. Melakukan pengecekan rutin terhadap kandungan DO pada bak aerasi untuk melihat apakah suplay oksigen yang dihasilkan oleh blower telah mencukupi berlangsungnya proses penguraian bahan organik.
6. Melakukan pemeriksaan rutin terhadap kandungan MLSS pada bak aerasi lalu menyesuaikannya dengan nilai rasio F/M dan umur lumpur agar dapat dilakukan langkah koreksi terhadap proses pengolahan yang berlangsung.
7. Melakukan penyesuaian terhadap nilai resirkulasi lumpur yang disesuaikan dengan kondisi pengolahan yang terjadi di bak aerasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Djasio *Sanropie, dkk*, 1989, Pengawasan Penyehatan Lingkungan Permukiman, Jakarta; Departemen Kesehatan RI
- Effendi, H.,2003, Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan ; Yogyakarta : Kanisius
- Gautam Chalasami. 2007. *Measurement of Temperature Effect on Dissolved Oxygen in Activated Sludge Treatment*. United States : Author
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Linvil Gene Rich. (1980). *Low-Maintanance Mechanically Simple Waste Water Treatment Systems*. Singapore: Mc Graw Hill
- Mark J. Hammer. (2004). *Water and Waste Water Techonolgy*. Singapore : Prentice Hall.
- Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F.L., & Stensel, H.D. (2004) *Wastewater Engineering Treatment And Reuse (4<sup>th</sup>ed)*. Singapore: Mc Graw Hill
- Noerbambang, Soufyan Moh. & Morimura, Takeo. (1993). Perancangan Dan Pemeliharaan Sistem Plambing. Jakarta : Pradya Paramita
- Peavy, Howard S. & Rowe, Donald R. (1985) *Environmental Engineering* . Singapore : Mc Graw-Hill.
- Qasim, Syed R. (1985). *Waste Water Treatment Plants Planning, Design, And Operations*.Usa : Cbs College Publishing
- Reynold, Tom D. & Richard, Paul A. (1995). *Unit Operational And Process In Environmental Engineering* (2nd Ed). Usa : International Thompson Publishing
- Peraturan Gubernur Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 122 Tahun 2005 Tentang Pengelolaan Air Limbah Domestik Di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta

Peraturan Pemerintah Nomor 82 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Pengendalian Pencemaran Air

Sawyer, Clair & Mccarty, Perry L. (2003). *Chemistry For Environmental Engineering And Science*, 5th Edition. Singapore : Mcgraw-Hill

Supradata. 2005. Tesis pengolahan limbah domestik menggunakan tanaman hias *Cyperus alternifolius*, L dalam sistem lahan basah buatan aliran bawah permukaan (SSF-wetlands). Thesis. Semarang.

SNI 03-7065-2005 Tentang Cara Perencanaan Sistem Plambing

SNI 06-6989.30-2005 Tentang Air dan air limbah

SNI 06-4824-1998 Metode pengujian klorin bebas dalam air dengan Spektrofotometer sinar tampak secara dietil fenilindiamin (DFD)

Universitas Indonesia (2007) . Pedoman Teknis Tugas Akhir Mahasiswa

Website Resmi BPLHD DKI Jakarta <[www.bplhd.jakarta.go.id](http://www.bplhd.jakarta.go.id)>

Website Resmi Pertamina. (November 2011) <[www.pertamina.com](http://www.pertamina.com)>

Website Resmi Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih Dan Limbah Cair (November 2011) <[www.kelair.bppt.go.id](http://www.kelair.bppt.go.id)>

Website Resmi Japan Sewage Works Association  
<[www.jswa.jp/en/jswaen](http://www.jswa.jp/en/jswaen)>

Nyoman Semadi Antara. (1995). Kinerja Sistem Lumpur Aktif pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. Bali : Author

## LAMPIRAN

**PEMERINTAH PROVINSI DAERAH KHUSUS IBUKOTA JAKARTA**  
**BADAN PENGELOLA LINGKUNGAN HIDUP DAERAH**  
**LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH**  
 Jl. Casablanca Kav. 1 Kuningan Telp. 5209651 - 5209653, Fax. 52090584, e-mail : lhdd@jakarta@yahoo.com  
 JAKARTA

Kode Pos : 12960  
 No. Akreditasi : LP - 128 - IDN

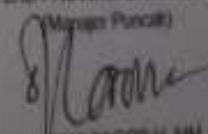
**LAPORAN HASIL UJI**

Nomor Contoh : 211 / LAB. 2 - LC/W2012  
 Contoh dari : DWICA WULANDARI  
 Alamat : Jalan Pd. Putri Asli, Depok  
 Tgl. Penerimaan Contoh : 28 Februari 2012  
 Tgl. Pengujian Contoh : 29 Februari 2012 - 15 Maret 2012  
 Jenis Contoh : Air Limbah  
 Tipe Lokasi : Other

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode
1	Zat Padat Tersuspensi	mg/L	43.0	Spektrofotometer
2	BOD (20°C, 5 hari)	mg/L	35.75	SNI 6989.72.2009
3	COD (Dichromat)	mg/L	74.58	SNI 6989.73.2009
4	Amonia	mg/L	34.56	SNI 06-6969.30-2008
5	Teguk dan Lemak	mg/L	< 1.13	Spektrofotometer
6	Organik (KMnO <sub>4</sub> )	mg/L	37.94	SNI 06-6989.23-2009
7	Total Hardness	mg/L	122.88	SNI 06-6969.19-2004
8	Zat Padat Terlarut	mg/L	159.0	SNI 06-2413-1991

Peringatan  
 Parameter yang tertera dalam laporan ini adalah hasil uji.

Jakarta, 22 Maret 2012

KEPALA LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH  
 BPLHD PROVINSI DKI JAKARTA  
 (Marsigit Puncak)  
  
 Drs. MARSIGIT PUNCAK, MM  
 NIP. 195804111983031002

**PEMERINTAH PROVINSI DAERAH KHUSUS IBUKOTA JAKARTA**  
**BADAN PENGELOLA LINGKUNGAN HIDUP DAERAH**  
**LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH**  
 Jl. Casablanca Kav. 1 Kuningan Telp. 5209651 - 5209653, Fax. 52960064, e-mail : [lhdd@jakarta.go.id](mailto:lhdd@jakarta.go.id)  
 JAKARTA  
 Kode Pos : 12950

No. Akreditasi : LP - 128 - ICA

**LAPORAN HASIL UJI**

Nomor Contoh : 211 / LAB. 2 - LCIV2012  
 Contoh dari : DWICA WULANDARI  
 Alamat : Jalan Pd Putri Aari, Depok  
 Tgl Pengambilan Contoh : 28 Februari 2012  
 Tgl Pengujian Contoh : 29 Februari 2012 - 15 Maret 2012  
 Jenis Contoh : Air Limbah  
 Tipe Lokasi : Outlet

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode
1	Zat Padat Tersuspensi	mg/L	43.0	Spektrofotometer
2	BOD (20°C, 5 hari)	mg/L	35.75	SNI 6969.72:2009
3	COD (Dichromat)	mg/L	74.56	SNI 6969.72:2009
4	Amonia	mg/L	34.56	SNI 16:6969.20:2005
5	Minyak dan Lemak	mg/L	< 1.13	Spektrofotometer
6	Organik (KMnO <sub>4</sub> )	mg/L	37.94	SNI 06:6969.22:2004
7	Total Hardness	mg/L	179.66	SNI 06:6969.12:2004
8	Zat Padat Terasorbi	mg/L	179.0	SNI 06:2413:1991

Petimbangan  
 Timbangan yang terakreditasi oleh BSN dan ditunjukkan pada foto

Jakarta, 22 Maret 2012

KEPALA LABORATORIUM LINGKUNGAN HIDUP DAERAH  
 BPLHD PROVINSI DKI JAKARTA  
 (Materai Pasca)

*[Signature]*  
 DESYONI TAGOR H. MNI  
 NIP.195804111983001000